



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE MINERALE ET DE CHIMIE PHYSIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE LICENCE D'INGENIERIE EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU

Option : Licence d'Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau (LISTE)



CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA COAGULATION-FLOCULATION DES EAUX DU LAC MANDROSEZA

Présenté et soutenu publiquement le 30 Mai 2014 par :

ANDRIANJAFIMAHATRATRA HARISOA Yveson Daniel

et

ANDRIAMANANTENA Andompifaliana

Membres du Jury :

Président : Docteur **RAVAOMANARIVO Harimisa**

Examineur : Docteur **RAJAOARISOA Andriamanjato**

Rapporteur : Madame **RABETOKOTANY Monique**



Année Universitaire: 2013-2014

« Recommande à l'Eternel tes œuvres, et tes projets réussiront »

Proverbe 16:3

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et le courage, surtout la santé durant nos années d'études afin de réaliser cet ouvrage.

Nous tenons aussi à présenter nos vifs remerciements à :

- *Monsieur RAZANAMPARANY Bruno, Professeur à la faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, responsable de la formation L.I.S.T.E ;*
- *Madame RABETOKOTANY Monique, enseignante à la formation LISTE, rapporteur de ce mémoire, qui nous a proposé ce sujet et qui nous a encadrés tout au long de ce travail ;*
- *Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Docteur à la Faculté des Sciences d'Antananarivo, pour l'honneur qu'elle nous a fait en voulant bien présider ce mémoire ;*
- *Monsieur RAJAOARISOA Andriamanjato, Docteur à la Faculté de Sciences, pour l'honneur qu'il nous a fait en siégeant parmi les membres de jury ;*
- *Tous les Enseignants de la Formation LISTE qui nous ont fait bénéficier de leurs connaissances et expériences durant nos études.*

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de toute l'équipe de la société JIRAMA pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long des quatre semaines de stage particulièrement à :

- *Madame RAKOTOMAHANINA Pascale Chef de Département Qualité Eau au niveau de la Direction de l'Exploitation Eau de la JIRAMA ;*
- *Monsieur RAKOTOARIVELONANAHARY Bruno, Chef de service contrôle qualité physico-chimique des eaux au sein du département DQO, qui nous a encadré durant notre séjour au Laboratoire;*
- *Monsieur ANDRIAMIALY Faralahy Lalaina, Chef de groupe Analyse Physico-chimique au sein du service SCQPC/DQO.*

Nous exprimons également nos plus profondes reconnaissance et gratitude envers nos parents, nos amis, et toute la famille qui nous ont soutenus, spirituellement, moralement, matériellement et financièrement tout au long de nos études jusqu'à la réalisation de cet ouvrage.

SOMMAIRE

Remerciements.....	i
Liste des abréviations.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des annexes.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
Chapitre I : Aperçu général sur la société JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy).....	4
I.1. Historique.....	4
I.2. Activités.....	4
I.3. Description de la station de traitement d'eau potable de la JIRAMA Mandroseza.....	4
I.3.1. Mandroseza I.....	5
I.3.2. Mandroseza II.....	7
I.4. Conclusion.....	9
Chapitre II. La qualité et le processus de potabilisation des eaux de surface.....	10
II.1. Introduction.....	10
II.2. Les paramètres de qualité des eaux.....	10
II.2.1. Les paramètres organoleptiques.....	10
II.2.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau.....	10
II.2.3. Les paramètres indésirables.....	10

II.2.4. Les paramètres toxiques.....	10
II.3. Processus de potabilisation des eaux de surface.....	11
II.3.1. Prétraitement.....	11
II.3.2. Pré-chloration.....	12
II.3.3. Clarification.....	12
II.3.3.1. Coagulation-Floculation.....	12
II.3.3.2. La décantation.....	12
II.3.3.3. La filtration.....	13
II.3.4. Désinfection.....	13
II.3.5. Affinage.....	14
II.4. Conclusion.....	14
CHAPITRE III. Généralité sur le procédé de coagulation-floculation.....	15
III .1. Introduction.....	15
III.2. Solutions colloïdales.....	15
III.3. Coagulation-floculation.....	16
III.3.1. Principes.....	16
III.3.2. Types de coagulants et adjuvants de floculation.....	17
III.3.3. Choix des réactifs et détermination des taux de traitement.....	20
III.3.3.1. Choix du coagulant.....	20
III.3.3.2. Détermination du taux optimum.....	21
III.3.4. Paramètres liés à la coagulation-floculation.....	21
III.4. Conclusion.....	22

Partie II : ETUDE EXPERIMENTALE SUR LA COAGULATION FLOCULATION.....	23
Chapitre I. Procédure expérimentale.....	24
I.1.Introduction.....	24
I.2. Préparation de solutions utilisées.....	24
I.2.1. Préparation du coagulant.....	24
I.2.2. Préparation des adjuvants de floculation.....	25
I.3. Matériels et paramètres d'analyses.....	26
I.3.1. Description simple du Jar test.....	26
I.3.2. Paramètres d'analyses.....	26
a)Analyses physiques.....	26
b) Analyses volumétriques.....	28
c)Analyses colorimétriques.....	28
I.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute Mandroseza.....	29
I.5. Conclusion.....	29
Chapitre II. Influence de temps de maturation du Sulfate d'aluminium.....	30
II.1. Introduction.....	30
II.2. Protocole expérimental.....	30
II.3. Résultats et discussions.....	30
II.3.1. Effet des 24heures de maturation du Sulfate d'aluminium.....	30
II.3.2. Effet des 48heures de maturation du Sulfate d'aluminium.....	32
II.3.3. Effet des 72heures de maturation du Sulfate d'aluminium....	33
II.4. Etude comparative	35

II.5. Conclusion.....	36
Chapitre III. Influence du pH.....	37
III.1. Introduction.....	37
III.2. Protocole expérimental.....	37
III.3. Résultats et discussions.....	37
III.3.1. Détermination du pH optimal.....	37
III.4. Etude comparative.....	39
a) Détermination de la dose optimum de coagulant à pH libre.....	39
b) Détermination de la dose optimum de coagulant à pH=7,56.....	40
III.5.Conclusion.....	42
Chapitre IV. Influence des adjuvants de floculation.....	43
IV.1. Introduction.....	43
IV.2. Protocole expérimental.....	43
IV.3. Résultats et discussions.....	43
IV.3.1. Détermination de la dose optimale de sel d'aluminium.....	43
IV.3.2. Utilisation des adjuvants.....	45
a) Influence de la chaux éteint sur la coagulation floculation.....	45
b) Influence de la dose de CAP sur la coagulation-floculation.....	45
IV.4. Etude comparative.....	46
IV.5. Conclusion.....	48
CONCLUSION GENERALE.....	49

LISTE DES ABREVIATIONS

CAP : Charbon Actif en Poudre

Cond : Conductivité

E.D.T.A. : Acide Ethylène Diamine Tétracétique

EB : Eau brute

°F : Degré français

JI.RA.MA: JIro sy RAno MALagasy

MES: Matière En Suspension

MO : Matières Organiques

N.T.U: Nephelometric turbidity unit ou unité de turbidité néphélométrique

pH : Potentiel hydrogène

SA : Sulfate d'Aluminium

SMEE : Société Malagasy des Eaux et Electricité

SEM : Société des Energies de Madagascar

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH Ca : Dureté calcique

TH : Titre hydrotimétrique (dureté)

THM: Trihalomethane

Turb: Turbidité

T°: Temperature

TDS: Total Dissolved Solids

WAC : Water Aluminium Chloride

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Lac Mandroseza.....</i>	5
<i>Figure 2 : Usine de traitement d'eau potable de la JIRAMA Mandroseza.....</i>	5
<i>Figure 3 : Décanteur Accelator.....</i>	6
<i>Figure 4 : Décanteur Pulsator.....</i>	6
<i>Figure 5 : Décanteur Pratt-Daniel.....</i>	7
<i>Figure 6 : Synoptique de MI.....</i>	8
<i>Figure 7 : Synoptique de MII.....</i>	8
<i>Figure 8 : Schéma classique du traitement des eaux de surface.....</i>	11
<i>Figure 9 : Emprisonnement des particules dans les floccs.....</i>	17
<i>Figure 10 : Sulfate d'aluminium noisette.....</i>	24
<i>Figure 11 : Chaux éteinte.....</i>	25
<i>Figure 12 : Charbon actif en poudre.....</i>	25
<i>Figure 13 : Jar-test (floculateur).....</i>	26
<i>Figure 14 : Ionomètre HANNA.....</i>	27
<i>Figure 15 : Conductimètre WTW.....</i>	27
<i>Figure 16 : Turbidimètre HACH.....</i>	28
<i>Figure 17 : Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour</i> <i>SA fraîchement préparé et SA en 24 heures de maturation.....</i>	31
<i>Figure 18 : Courbes d'évolution des MO en fonction de la dose du coagulant pour</i> <i>SA fraîchement préparé et SA en 24 heures de maturation.....</i>	31
<i>Figure 19 : Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour</i> <i>SA fraîchement préparé et SA en 48 heures de maturation.....</i>	32

<i>Figure 20 : Courbes d'évolution des MO en fonction de la dose du coagulant pour</i>	
SA fraîchement préparé et SA en 48 heures de maturation.....	33
<i>Figure 21 : Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour</i>	
SA fraîchement préparé et SA en 72 heures de maturation.....	34
<i>Figure 22 : Courbes d'évolution des MO en fonction de la dose du coagulant pour</i>	
SA fraîchement préparé et SA en 72 heures de maturation.....	34
<i>Figure 23 : Courbe d'évolution de la turbidité en fonction des temps</i>	
de maturation du SA.....	35
<i>Figure 24 : Courbe d'évolution des MO en fonction du temps de maturation du SA.....</i>	36
<i>Figure 25 : Variation de la turbidité en fonction du Ph.....</i>	38
<i>Figure 26 : Variation de la turbidité en fonction de la dose de SA</i>	
à pH= 7,56 et à pH libre.....	40
<i>Figure 27 : Variation des MO en fonction de la dose de SA à pH= 7,56 et à pH libre.....</i>	41
<i>Figure 28 : Evolution de la turbidité en fonction de la dose de SA.....</i>	44
<i>Figure 29 : Evolution des MO en fonction de la dose de SA.....</i>	44
<i>Figure 30 : Influence des adjuvants sur la turbidité.....</i>	47
<i>Figure 31 : Influence des adjuvants sur les MO.....</i>	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résultats des analyses des eaux brutes.....	29
Tableau 2 : Effet des 24Heures de maturation de SA sur la coagulation.....	31
Tableau 3: Effet des 48Heures de maturation de SA sur la coagulation.....	32
Tableau 4 : Effet des 72Heures de maturation de SA sur la coagulation.....	33
Tableau 5 : Comparaison des différents paramètres en fonction de temps de maturation.....	35
Tableau 6 : Rendement d'élimination de la turbidité en fonction des temps de maturation.....	35
Tableau 7 : effet du pH sur la coagulation.....	38
Tableau 8: Résultats de l'essai de floculation à pH libre.....	39
Tableau 9 : Résultats de l'essai de floculation à pH=7.56.....	40
Tableau 10 : Rendements d'élimination de la turbidité et des MO pour 10 mg.L ⁻¹ de coagulant à pH libre et à =pH7,5.....	40
Tableau 11 : Résultats du jar-test pour la détermination de la dose optimale.....	44
Tableau 12: Influence de la dose de chaux sur le rendement de la floculation.....	45
Tableau 13: Influence de la dose de charbon actif sur le rendement de la floculation.....	46
Tableau 14 : Rendement optimum d'élimination (%) de la turbidité et des MO en fonction de l'adjuvant utilisé.....	46

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Analyse physico-chimique des eaux de la JIRAMA Mandroseza

ANNEXE II: Extrait de normes malgache sur la potabilité des eaux

ANNEXE III : Essais de floculation de la JIRAMA

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle constitue l'hydrosphère, son volume est estimé à 1370 millions de kilomètres cubes. Mais l'eau est surtout synonyme de vie biologique, elle est essentielle à la vie et au bien-être. C'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée. Ses ressources sont précieuses et rares, sa qualité délicate et son cycle naturel très long. Aujourd'hui, la qualité de l'eau et de l'environnement nous concernent tous. La qualité de l'eau est donc prioritairement une exigence de santé. [1]

L'élimination des matières colloïdales est l'objectif souvent assuré au cours du procédé conventionnel de la clarification. La coagulation-floculation conditionnera le reste du traitement et elle permet, par un processus physico-chimique comprenant l'ajout d'un coagulant, de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes qui sont aptes à sédimenter. [2]

Actuellement, la JIRAMA utilise du sulfate d'aluminium et de la chaux pour l'étape de clarification de l'eau. Ces produits donnent un bon rendement de potabilisation de l'eau mais ce résultat n'est pas un frein à des nouvelles recherches mettant à l'épreuve l'utilisation d'autres produits et de nouvelles approches pour des résultats intéressants afin d'améliorer la qualité des eaux destinées à la consommation, d'où l'objectif de notre étude : « ***Contribution à l'amélioration de la coagulation floculation des eaux du lac Mandroseza*** ».

Notre étude se présente en deux grandes parties :

La première partie de ce travail est relative à l'étude bibliographique, contenant les chapitres suivants :

- Chapitre I présente l'aperçu général de la société JIRAMA.
- Chapitre II décrit les qualités et différents procédés de traitement des eaux de surface.
- Chapitre III donne une vue générale sur le phénomène de coagulation floculation.

La seconde partie de l'étude est axée sur l'expérimentation et elle est présentée en quatre chapitres :

- Chapitre I décrit les différents protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de cette étude et les résultats analytiques des caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute de Mandroseza.
- Chapitre II présente l'influence du temps de maturation du sulfate d'aluminium

- Chapitre III concerne l'influence du pH.
- Et enfin, chapitre IV présente l'influence des adjuvants de floculation.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. APERCU GENERAL SUR LA SOCIETE JIRAMA

La JIRAMA (Jiro sy RAno MAlagasy) est une société anonyme de droit commun détenue entièrement par l'Etat Malagasy. Elle est dirigée par un Conseil d'administration auquel répond le Directeur Général. Il est nommé par le Ministère chargé de l'énergie. [3]

I.1. HISTORIQUE

La JIRAMA, est la compagnie nationale d'eau et d'électricité de Madagascar. Créée le 17 octobre 1975, elle résulte de la fusion de deux sociétés qui exerçaient des activités similaires : la Société Malagasy des Eaux et Electricité (SMEE) et la Société des Energies de Madagascar (SEM). [3]

I.2. ACTIVITES

La Jirama produit, transporte et distribue l'électricité à Madagascar, en même temps qu'elle assure l'alimentation en eau potable et industrielle à travers le pays. [3]

Elle intervient dans 65 des 232 communes urbaines de Madagascar. Parmi ces 66 centres opérationnels, 61 sont mixtes en eau et électricité, tandis que 5 assurent seulement la gestion de l'activité de production et de distribution d'eau potable. [3]

Concernant la production en eau, la JIRAMA assure l'alimentation en eau potable près de 145.029 abonnés dans 65 centres pour l'eau dans toute l'Île, 8260 Bornes Fontaines.

Pour les desservir, la JIRAMA exploite :

- 142 ressources en eaux dont 39 superficielles et 16 gravitaires ;
- 74 stations dont 29 en traitement complet ;
- 123 ouvrages de stockage et 2.427 km de réseau de distribution ;
- 45 laboratoires de contrôle décentralisés et un laboratoire central.

I.3. DESCRIPTION DE LA STATION DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE DE LA JIRAMA MANDROSEZA

En général, la société JIRAMA utilise le lac Mandrozeza pour l'alimentation en eau potable de la région d'Antananarivo. L'eau contenue dans ce lac provient, de la rivière d'Ikopa, et de la pluie. La capacité de cette grande retenue d'eau varie alors en fonction du temps. Les figures 1 et 2 présentent la vue aérienne du lac mandrozeza et de l'usine de traitement d'eau potable de la JIRAMA.



Figure1: Lac Mandroseza [Google earth]



Figure 2: Usine de traitement d'eau potable de la JIRAMA Mandroseza [Google earth]

L'usine de traitement d'eau potable de Mandroseza est composée de deux stations principales : « Mandroseza I » ou MI et « Mandroseza II » ou MII. Actuellement, en moyenne, les deux usines MI et MII produisent au total 160 000 m³ d'eau potable par jour. Elles diffèrent notamment par leurs capacités de production et leurs méthodes de traitements.[4]

I.3.1. Mandroseza I

L'usine MI, la première à être implantée, est fonctionnelle depuis 1975 et produit 100 000 m³ d'eau potable par jour. En ce qui concerne la méthode de traitement, MI comporte quatre types de décanteurs: Accelator, Pulsator I et II, Pratt-Daniel.

✓ Décanteur Accelator

Ce décanteur comporte une zone centrale de réaction entourée d'une zone de décantation, ces deux zones communiquent par le haut et par le bas. Une turbine fait circuler l'eau vers la zone de décantation et revient par circulation induite dans la zone centrale. Eventuellement, un agitateur de fond assure un mélange rapide de l'eau brute avec la boue et les réactifs. Ce décanteur contient six filtres monocouches.[5]



Débit :
 $Q_A = 1100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Figure 3 : Décanteur Accelator

✓ **Décanteurs Pulsator I et II :**

Le décanteur pulsator fait partie de type de décanteur à lits de boues. Ces décanteurs ont chacun six bassins de décantation et six bassins de filtration. Ce sont des bassins à fond plat muni à sa base d'une série de tuyaux perforés permettant d'introduire l'eau brute uniformément, surtout le fond de décanteur. L'alimentation en eau se fait d'une manière discontinue par l'intermédiaire d'une cloche à l'intérieur de la quelle on aspire l'air. [5]



Débit :

Pulsator I : $Q_{P1} = 1300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Pulsator II : $Q_{P2} = 1600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Figure 4 : Décanteur Pulsator

✓ **Décanteur Pratt-Daniel**

Le décanteur Pratt-Daniel est un décanteur vertical cylindrique à fond conique et à flux vertical. Après addition de sulfate d'aluminium, l'eau brute dépourvue des matières organiques remonte vers la surface, tandis que ces dernières devenues denses se déposent petit à petit vers le fond. Ce décanteur contient douze filtres bicouches. [6]



Débit :

$$Q_{PD}=800\text{m}^3.\text{h}^{-1}$$

Figure 5 : Decanteur Pratt-Daniel

I.3.2. Mandroseza II

C'est une nouvelle station créée pour renforcer la station MI. Les principes de traitements sont presque toutes les mêmes mais se différencient en quelques points tels que le dégrillage, le mélangeur rapide, le flocculateur et le saturateur de chaux en aval.

Mandroseza II utilise un filtre bicouche composé d'anthracite et de sable. La couche supérieure est formée d'anthracite tandis que celle du dessous de sable. Ce filtre présente un avantage par rapport aux filtres monocouches puisqu'il permet à la fois de réduire le temps de floculation et améliore la filtration due à la petite taille des particules formés.

Les figures 6 et 7 montrent les schémas synoptiques des usines de traitement MI et MII.

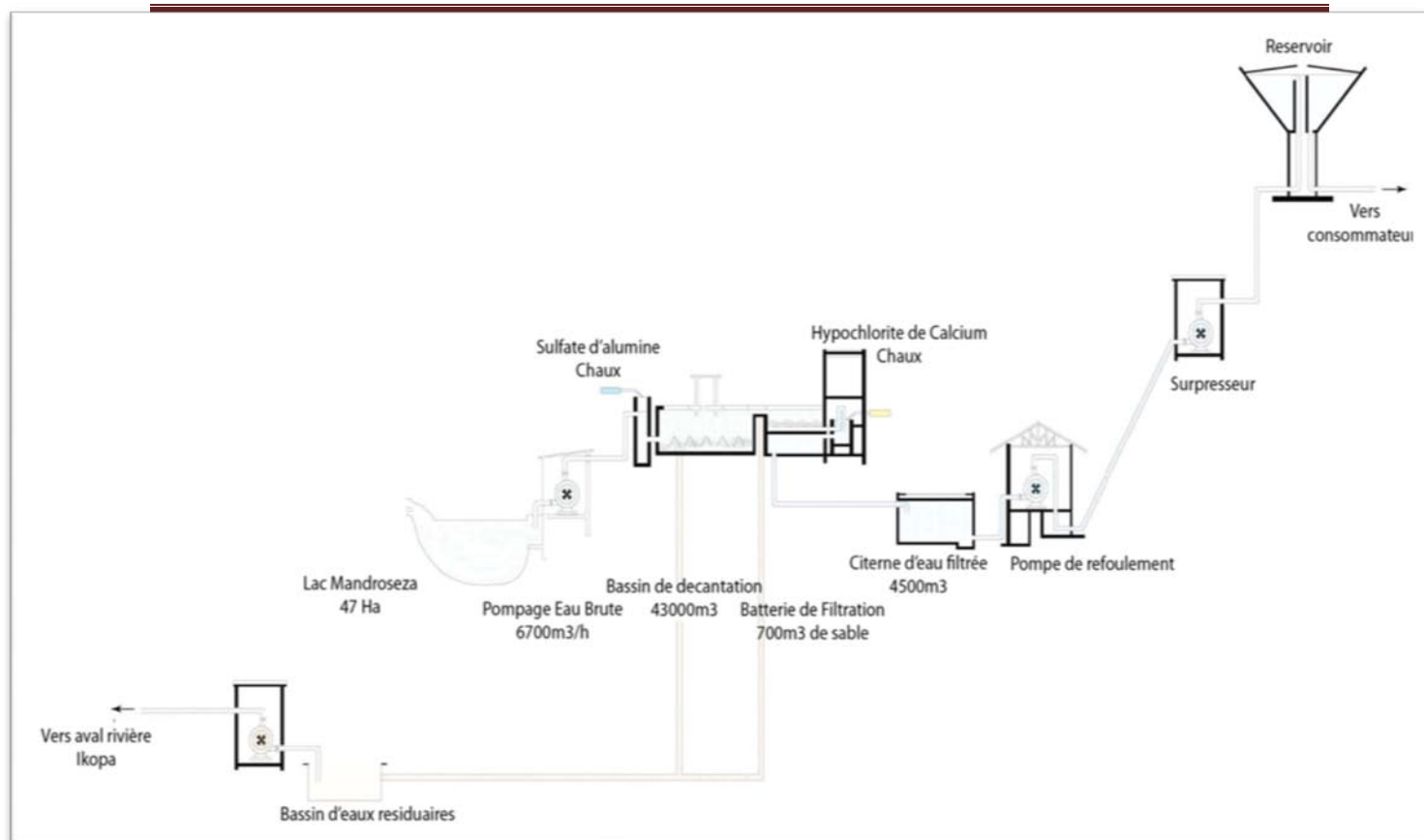


Figure 6 : Synoptique de MI [4]

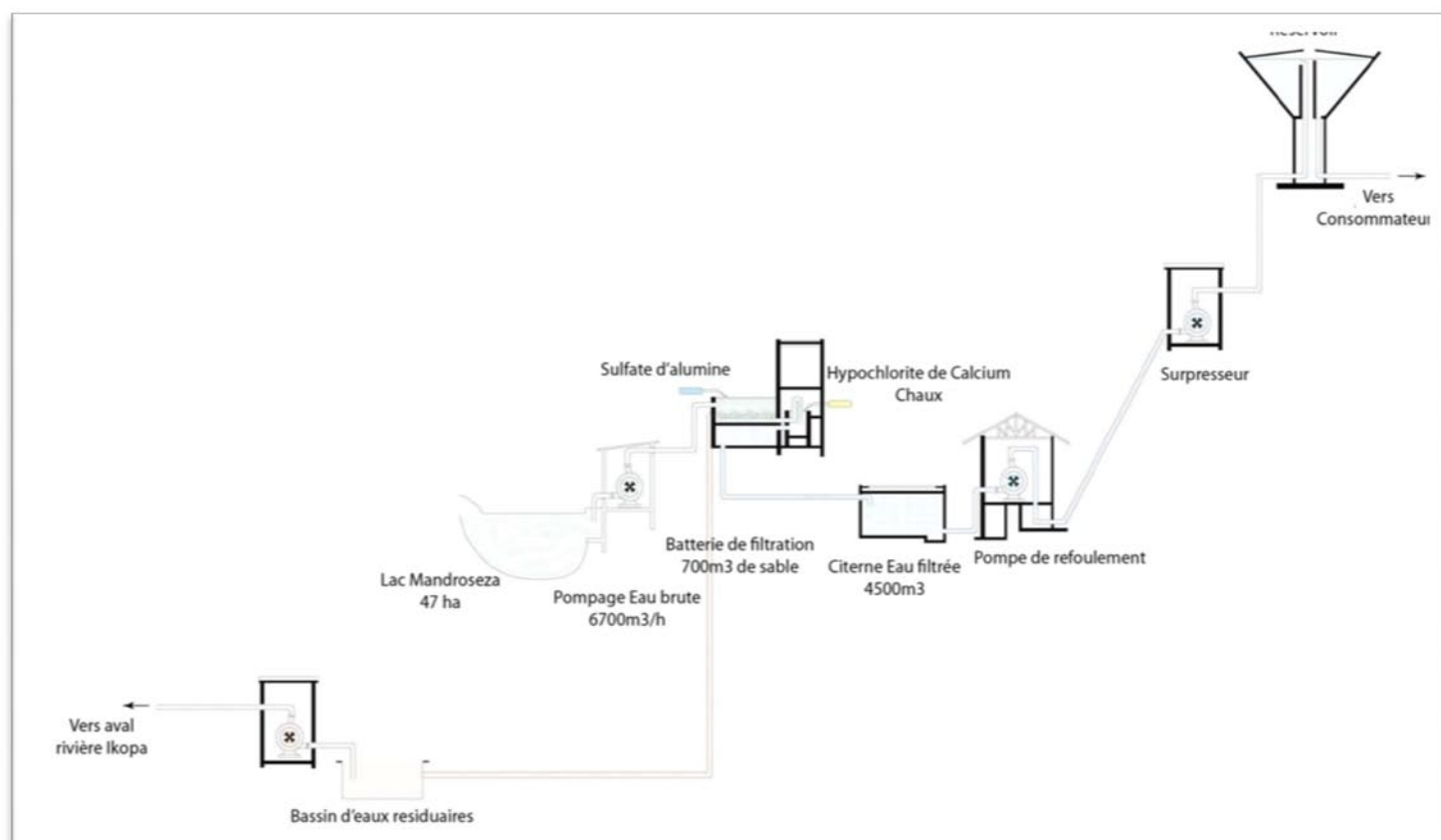


Figure 7 : Synoptique de MII [4]

I.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons constaté que la JIRAMA tient une grande responsabilité envers notre pays, elle a pour rôle de gérer l'approvisionnement en eau potable et de produire de l'électricité. Le traitement d'eau potable à Mandroseza est une chaîne de traitement complète. Le chapitre qui suit abordera la généralité sur les processus de potabilisation des eaux.

Chapitre II : LA QUALITE ET LE PROCESSUS DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE

II.1. INTRODUCTION

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans traitement à cause de l'existence de diverses substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer leur qualité (potabilité), elles nécessitent des traitements appropriés, c'est-à-dire des modifications physico-chimiques, dans une chaîne de traitement classique. [2]

II.2. LES PARAMETRES DE QUALITE DES EAUX [2]

II.2.1. Les paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

II.2.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau

Ils constituent l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

II.2.3. Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer.

II.2.4. Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière.

Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : chrome, cadmium, nickel...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des micropolluants organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques.

II.3. PROCESSUS DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE

Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface comporte généralement cinq grandes étapes (Figure 8) [7]

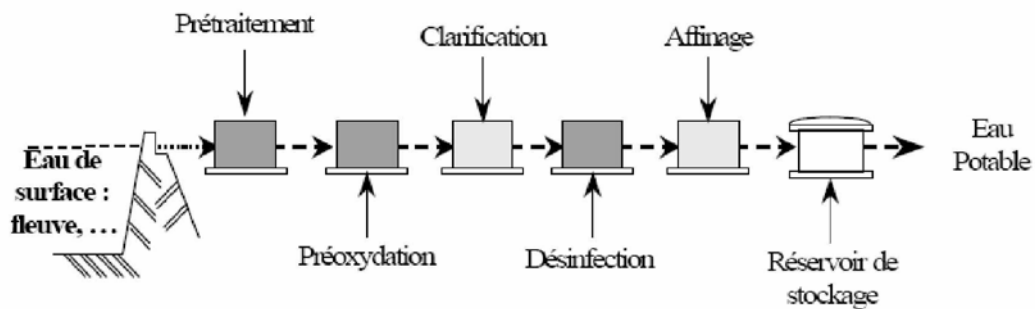


Figure 8: Schéma classique d'un traitement des eaux de surface

II.3.1. Prétraitement [7]

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types :

- le dégrillage
- le tamisage

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement. Ceci permet également de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution. Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets : morceaux de bois, etc. Il est assuré par une grille à nettoyage manuel ou automatique avec une vitesse de passage de l'ordre de $0.6 \text{ à } 1 \text{ cm.s}^{-1}$. Le tamisage quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage.

II.3.2. Pré-chloration [2]

La pré-chloration en tête de l'installation permet la stérilisation des décanteurs, filtres, conduites, ainsi, elle améliore le goût et élimine les mauvaises odeurs. Il s'agit d'un prétraitement par l'hypochlorite de calcium effectué une fois par semaine. La pré-chloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le réactif le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables.

II.3.3. Clarification [7]

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes. La clarification comprend : la coagulation – la floculation – la décantation – la filtration.

II.3.3.1. Coagulation-Floculation [5]

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un flocc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

II.3.3.2. Décantation [2]

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de flocc après une étape de coagulation floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité

impérieuse du phénomène de coagulation- floculation . Il existe plusieurs types de décanteurs :

a) Décanteurs statiques

Il est constitué d'un bassin rectangulaire ou circulaire où les boues se déposent. Les petits décanteurs sont munis de fonds inclinés de 45° à 60° pour permettre l'évacuation continue ou intermittente des boues au point le plus bas.

b) Décanteurs à contact de boues

Ce sont des décanteurs modernes qui possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ses réactifs avec les boues déjà existantes : on trouve là les appareils à circulation des boues et les appareils à lit de boues.

II.3.3.3. Filtration [2]

La filtration est un procédé de séparation solide/ liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée). A mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement. Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage. D'une façon générale, on distingue deux types de filtration.

- La filtration lente qui a l'avantage d'être une opération facile mais présentant plusieurs inconvénients tels que la nécessité d'une grande surface et l'exigence d'une eau dont la turbidité est faible.
- La filtration rapide, qui en revanche est une opération relativement complexe mais palliant aux inconvénients de la première.

II.3.4. Désinfection [2]

Le but de la désinfection est d'éliminer tous micro-organismes pathogènes présents dans l'eau et maintenir le chlore résiduel dans les conduites afin d'empêcher le développement de maladies hydriques. Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que le chlore et ses dérivées, l'ozone, les rayons ultra-violet. Mais le chlore est l'agent le plus utilisé comme désinfectant final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre le développement bactérien vu son effet rémanent.

II.3.5. Affinage [2]

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation. Cet affinage est réalisé par le phénomène d'adsorption, généralement sur le charbon actif sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable.

II.4. CONCLUSION

Ce chapitre a servi d'introduction au domaine lié à notre étude. Nous avons décrit les différentes étapes d'une chaîne de traitement d'eau potable en nous basant sur la chaîne la plus complète possible et la plus courante. Parmi les procédés de traitement exposés, la coagulation-floculation est une étape de clarification très importante ; elle vise à éliminer les matières colloïdales par ajout d'une solution coagulante.

Le chapitre suivant décrit plus particulièrement le procédé de coagulation-floculation sur lequel porte notre étude.

Chapitre III. GENERALITE SUR LE PROCÉDE DE COAGULATION-FLOCCULATION

III.1. INTRODUCTION

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites dites particules colloïdales, très stables en suspension et non décantés. Pour les éliminer, on a recours au procédé de coagulation et de floculation. Il a pour but de déstabiliser les particules colloïdales par introduction de réactif chimique approprié appelé coagulant. [5]

III.2. SOLUTIONS COLLOÏDALES

L'eau contient de nombreux composés organiques ou minéraux qui peuvent se regrouper en 3 catégories :

- *Matières en suspension (MES) :*

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles,...) ou organique. A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, planctons, algues et virus.

- *Matières colloïdales (moins de 1 micron) :*

Ce sont des matières en suspension de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont généralement génératrices de turbidité et de couleur.

- *Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres)*

Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est généralement sous forme dissoute. On peut trouver aussi des gaz (O_2 , CO_2 , $H_2S...$). [15]

Pour le cas des colloïdes, ils sont classés, arbitrairement, en deux groupes principaux ;

- **les colloïdes hydrophiles** : ils proviennent de substances solubles présentant une affinité pour l'eau, et qui adsorbent une couche d'eau liée, protectrice. Dans ce groupe se trouvent les protéines, les carbohydrates et, d'une façon générale, les produits organiques.
- **les colloïdes hydrophobes** : généralement plus gros et n'ont pas de couche protectrice. Ils proviennent de substances peu ou pas solubles tels que les métaux, leurs oxydes et/ou leurs hydroxydes. Plus généralement, ce sont des produits minéraux.

L'existence des systèmes colloïdaux dépend de l'interaction entre deux particules. Elle met en jeu deux forces contraires :

- une force de répulsion qui tend à écarter les particules les unes des autres. Cette force dépend de la charge des particules qui sont de même signe.
- une force d'attraction (type Van der Waals) qui tend à rassembler les particules pour atteindre l'énergie potentielle minimum. Cette force est, bien entendu, fonction de la distance entre particules. [8]

III.3. COAGULATION-FLOCULATION

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer ». La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. [1]

III.3.1. Principes

- **Coagulation**

La déstabilisation des particules colloïdales s'effectue par la neutralisation des charges négatives par le coagulant et aussi par emprisonnement des particules dans un précipité. Dans une eau brute, la charge négative est donc déstabilisée par réaction covalente par les ions métalliques polyvalents du coagulant. Le coagulant est hydrolysé à la surface de la particule colloïdale ce qui permet, l'impulsant du colloïde dans un précipité hydroxyde. Il y a aussi polymérisation du coagulant hydrolysé ce qui contribue aux grossissements du floc de particule colloïdale déstabilisé. [5]

- **Floculation**

La particule colloïdale déstabilisée a tendance à s'agglomérer lorsqu'elle est en contact avec les autres. Le pourcentage d'agglomération des particules dépend de la probabilité de contact entre elles. Cette probabilité est fonction de la nature de la floculation

Deux phénomènes de transport régissent la floculation :

- La floculation péricinétique liée à la diffusion brownienne (agitation thermique)
- La floculation orthocinétique est liée à l'énergie dissipée. L'efficacité de cette floculation qui permet d'obtenir le floc volumineux séparable est donné dans la pratique par le gradient de vitesse G correspondant au régime turbulent. [5]

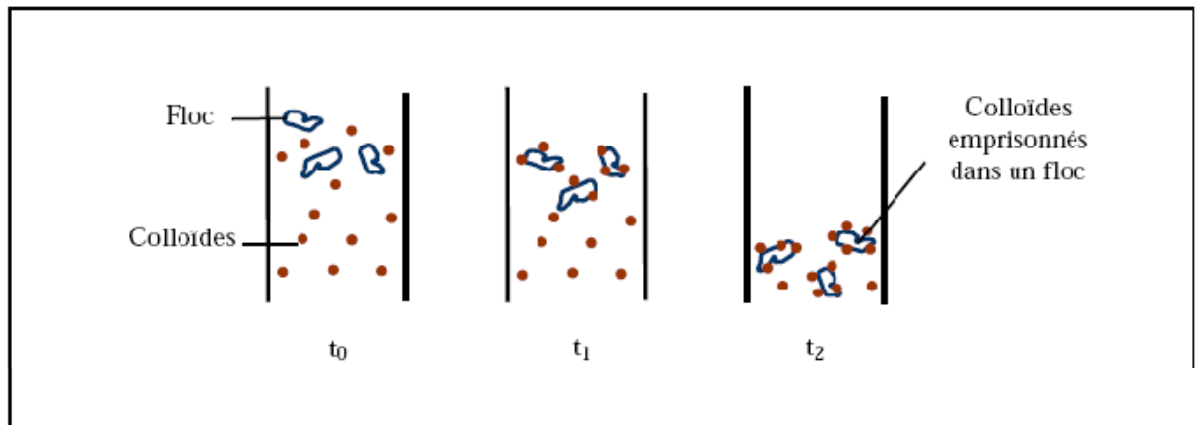


Figure 9: Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation.

III.3.2. Types de coagulants et adjuvants de floculation

Ces produits sont capables :

- de neutraliser l'électro-négativité des colloïdes
- de donner naissance à un précipité, notamment d'hydroxydes métalliques, qui sert ultérieurement de sites d'adsorption.

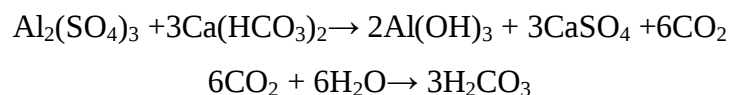
III.3.2.1. Les coagulants [10]

a) Les sels d'aluminium

➤ Le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$

- *Présentation*: Réactif en granule blanche hydratée commercialisée dans des sacs de 50 kg environ
- *Action du sulfate d'aluminium*

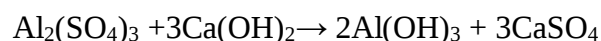
Introduit dans l'eau sous forme de solution concentrée à 20 à 100 g.L⁻¹, préparée dans un bac de réactif et injectée à l'aide de pompes de dosage.



La formation de l'hydroxyde d'aluminium s'accompagne d'une baisse du pH de l'eau due à la formation de gaz carbonique qui se transforme en acide carbonique.

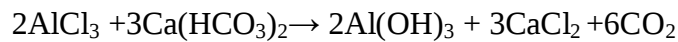
- *En association avec des adjuvants*

La chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou la soude (NaOH) lorsque l'alcalinité naturelle de l'eau est très insuffisante.

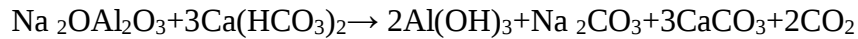


Formation d'hydroxyde d'aluminium non accompagnée d'une baisse du pH de l'eau.

➤ **Le chlorure d'aluminium** : produit liquide



➤ **L'aluminate de soude** : cristaux blancs ou jaune verdâtre ou liquide



Formation d'hydroxyde d'aluminium suivie d'une baisse modérée du pH de l'eau.

➤ **Water aluminium chloride : WAC**

Polymères basiques d'aluminium sous forme de liquide jaune de formule générale $\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{SO}_4)_k\text{Cl}_{3(n-m-2k)}$. Les WAC sont très utilisés à cause de leur pouvoir tampon du pH et leur capacité à agglomérer les particules par floculation.

b) Les sels de fer

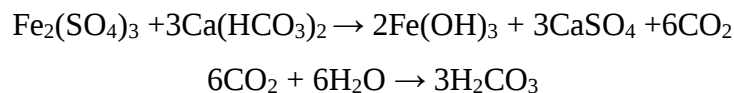
➤ **Le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 9\text{H}_2\text{O}$**

• *Présentation:*

Réactif en granule ou poudre rougeâtre hydraté

• *Application et action*

Introduit dans l'eau sous forme de solution concentrée à 20 à 100 g.L⁻¹, préparée dans un bac de réactif et injectée à l'aide de pompes de dosage



Formation d'hydroxyde ferrique suivie d'une baisse du pH de l'eau due à la formation du gaz carbonique qui se transforme en acide carbonique.

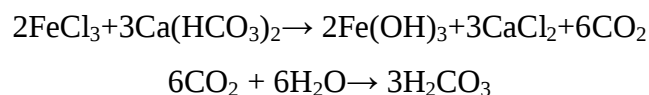
➤ **Le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$**

• *Présentation*

Réactif en concentré liquide jaunâtre ou sous forme de cristaux bruns ou de poudre noire hydratée.

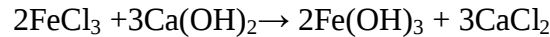
• *Application et action*

Introduit dans l'eau sous forme de solution concentrée à 20 à 100 g.L⁻¹, préparée dans un bac de réactif et injectée à l'aide de pompes de dosage.

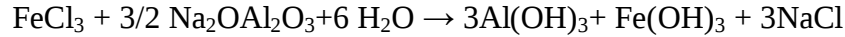


- En association avec des adjuvants

Avec la chaux

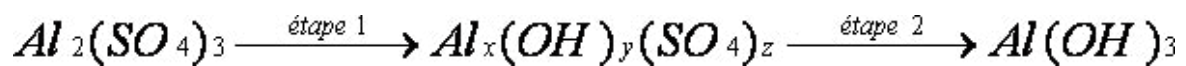


Avec l'aluminate de soude



Les sels de fer sont mieux indiqués pour des eaux à pH élevés (jusqu'à pH 11). Ils donnent des floccs lourds, mais ils sont très sensibles au respect de la dose optimale. Ils sont surtout utilisés pour la précipitation de polluants dans les eaux usées.

La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes. Prenons l'exemple du sulfate d'aluminium :



-**L'étape 1** est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ils sont très efficaces pour neutraliser la charge des colloïdes. Il s'agit de la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

-**L'étape 2** permet la formation du précipité d' $\text{Al}(\text{OH})_3$. Cette réaction dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure la coalescence des colloïdes déstabilisés : c'est la forme floculante. [8]

III.3.2.2. Les adjuvants de floculation

Pour une meilleure efficacité du procédé de coagulation-floculation, on utilise parfois des adjuvants de floculation qui sont des colloïdes de même charge que les particules à flocculer, ajoutés pour en augmenter la concentration et le nombre de chocs entre les particules.

- **La chaux :**

La chaux ou hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ provoque la précipitation des bicarbonates HCO_3^- , responsable du TAC de l'eau, en carbonate de calcium (CaCO_3). La chaux est ajoutée, sous forme de lait de chaux, par pompe doseuse, proportionnellement au débit et au TAC de l'eau à traiter.

- **La silice activée :**

La silice activée a été le premier adjuvant de floculation employé : c'est encore actuellement celui qui peut donner les meilleurs résultats, principalement si on l'utilise conjointement avec du sulfate d'aluminium. Généralement introduite après le coagulant, elle est préparée en neutralisant partiellement l'alcalin d'une solution de silicate de soude. [1]

- **La bentonite :**

L'argile est un excellent adsorbant, dont les propriétés de rétention sont bien connues en agriculture. Elle fixe à la surface de ses microcristaux. La bentonite est utilisée essentiellement comme adjuvant de floculation dans le but de recharger artificiellement une eau contenant trop peu de matières en suspension, ceci afin d'obtenir une meilleure décantation. [2]

- **Le charbon actif en poudre :**

L'usage du charbon actif en poudre demeure une technique très répandue du traitement de l'eau potable. L'utilisation du CAP améliore le goût et l'odeur de l'eau. C'est aussi un adjuvant de floculation pour la phase finale de la coagulation. Le CAP peut être injecté soit juste avant la filtration, soit durant la floculation. [2]

III.3.3. Choix des réactifs et détermination des taux de traitement. [8]

III.3.3.1. Choix du coagulant

Le choix du coagulant est effectué après une étude de l'eau en laboratoire, à l'aide de la technique des essais de floculation. Ce choix doit tenir compte de plusieurs facteurs :

- Température de l'eau,
- Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique),
- Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou Matières Organiques, par exemple),
- Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...),
- Coût du produit,
- Choix imposé ou "considération esthétique".

III.3.3.2. Détermination du taux optimum

La coagulation et la floculation sont des phénomènes complexes, influencés par de nombreux paramètres : qualité des eaux (caractéristiques physico-chimiques, nature et structure des colloïdes), nature et mise en œuvre des produits utilisés.

Aussi la méthode la plus sûre et la plus rationnelle, pour déterminer dans chaque cas la nature et quantité de réactif à utiliser, s'appuiera sur l'expérimentation. La méthode qui reproduit à petite échelle l'ensemble du processus de coagulation-floculation est celle dite du JAR-TEST, utilisé en laboratoire. Dans cette recherche du meilleur résultat possible, l'expérience de l'homme doit être secondée par l'essai de floculation en laboratoire (JAR-TEST), et éventuellement par la mise en œuvre d'un pilote de traitement qui sont des auxiliaires précieux.

III.3.4. Paramètres liés à la coagulation-floculation [7]

Pour optimiser le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation, comme le pH, la dose de coagulant, les conditions de mélange et la température.

a) L'influence du paramètre pH

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques.

b) L'influence de la dose de coagulant

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une restabilisation des particules et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement. Pratiquement, la dose optimale de coagulant peut être déterminée soit

par l'emploi de la mesure du potentiel zêta (nécessite un matériel très coûteux), soit par un test au laboratoire, connu sous le nom de "Jar-Test".

c) L'influence de la température

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons.

d) L'influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation.

e) L'influence des conditions de mélange

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc. Néanmoins, il faut éviter que l'agitation soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la restabilisation des colloïdes.

III.4. CONCLUSION

La coagulation-floculation est une étape de clarification très importante qui permet d'éliminer les matières colloïdales présentes sous forme minérale ou organique, et qui sont caractérisées par leur grande stabilité et leur faible taille.

Le processus de coagulation-floculation, malgré son apparente simplicité, fait intervenir divers mécanismes souvent complexes et suivant les conditions du pH. Cependant, il s'avère nécessaire de s'intéresser également aux étapes de traitement en amont et en aval de la coagulation- floculation car celles-ci peuvent conditionner l'efficacité de la clarification et donc l'optimisation du traitement d'une eau de surface.

PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE SUR LA COAGULATION-FLOCCULATION

Chapitre I. PROCEDURE EXPERIMENTALE

I.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents réactifs utilisés, de l'appareillage et de la méthodologie expérimentale adoptée.

En premier lieu, nous définissons les réactifs de coagulants et adjuvants de floculation utilisés qui devront permettre de juger l'efficacité du procédé de traitement étudié. Nous décrivons ensuite la méthode de coagulation-floculation basée sur les essais de jar-test et présentons les caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute de la station de potabilisation de Mandrozeza.

I.2. PREPARATION DES SOLUTIONS UTILISEES

I.2.1. Préparation du coagulant

Au cours de nos essais, nous avons utilisé comme réactif coagulant le sulfate d'aluminium $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ (17% Al, 18% O_2), il est préparée en diluant 10 g de $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ en noisette dans un litre d'eau distillée. Cette solution permet un ajout de faible quantité pour les doses voulues de coagulant.

Le sulfate d'alumine que nous avons utilisé lors de cette étude est un produit importé suivant les caractéristiques ci-après:

Formule chimique : $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$

- Aluminate.....17,04%
- Basicité.....2,45%
- Fer.....0
- Insolubilité.....0,01



Figure 10: Sulfate d'aluminium noisette

I.2.2. Préparation des adjuvants

Des solutions mères de 2g.L^{-1} sont préparées par dissolution de chaque adjuvant de floculation dans de l'eau distillée, les adjuvants utilisés sont : charbon actif en poudre et chaux éteinte.

▪ Chaux éteinte

L'aide coagulant le plus utilisé par la JIRAMA est la chaux éteinte, dont la fiche technique est la suivante :

- Ca(OH)_295,12%
- CaO72%



Figure 11: Chaux éteinte

▪ Charbon actif en poudre

Durant notre étude nous avons aussi testé l'efficacité du charbon actif en poudre comme un adjuvant de floculation dont les caractéristiques sont les suivants :

-Granulométrie..... $20\ \mu\text{m}$
-Surface spécifique..... $658\ \text{m}^2.\text{g}^{-1}$.



Figure 12 : Charbon actif en poudre

I.3. MATERIELS ET PARAMETRES D'ANALYSES

I.3.1. Description simple du Jar test

Lors des essais en laboratoire, on a utilisé le Jar test : essai de floculation qui permet de déterminer le taux optimal du coagulant pour le processus de coagulation floculation. Les essais ont été conduits dans un flocculateur de laboratoire avec six agitateurs et six béchers de 1000mL. L'eau à traiter est mise dans chaque bécher. L'agitation rapide est réalisée à 100 tr/mn ; au temps zéro, on ajoute les doses prédéterminées de solution coagulante de façon identique dans chacun des béchers. La phase d'agitation rapide dure toujours deux minutes. Les deux minutes d'agitation rapide sont suivies de 20 minutes d'agitation lente à 40tr/mn. Après décantation pendant 30 minutes, on prélève une quantité d'eau décantée pour l'analyser.



Figure 13 : jar-test (flocculateur)

I.3.2. Paramètres d'analyses

Le mode opératoire pour les diverses analyses est rapporté dans l'annexe I.

Pour bien réaliser les différentes analyses de l'eau brute et de l'eau décantée, divers matériels sont utilisés pour procéder à différentes mesures, tels que :

a) Analyses physiques

▪ Mesure du pH

Elle est réalisée à l'aide d'un Ionomètre modèle HANNA instrument HI 4222 muni de 2 électrodes l'une en verre contenant une solution de KCl et l'autre en plomb.



Figure 14: Ionomètre HANNA

▪ **Mesure de la conductivité**

La mesure de la conductivité est effectuée à l'aide d'un conductimètre modèle LF 538. Cet appareil permet de mesurer en même temps la conductivité en $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ (micro siemens par cm), la température en $^{\circ}\text{C}$ (degré Celsius) et la minéralisation de l'eau en $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ (milligramme par litre).



Figure 15 : Conductimètre WTW

▪ **Mesure de la turbidité**

La turbidité des échantillons est mesurée à partir d'un turbidimètre digital modèle 2100P HACH. La turbidité nous renseigne sur l'aspect de l'eau à analyser. On peut classifier l'aspect de l'eau comme suit: limpide, claire, trouble.

L'unité de mesure utilisée est le NTU ou le Nephelometric Turbidity Unit.



Figure 16 : Turbidimètre HACH

b) Analyses volumétriques

Les analyses volumétriques nécessitent l'utilisation de différents réactifs chimiques (solutions tampons, solutions titrantes et des indicateurs colorés) pour les mesures de :

- titre hydrométrique de l'eau (indicateur de la dureté de l'eau) ;
- dosage des chlorures Cl^- ;
- titre alcalimétrique (identification des sels alcalins : HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- responsable de la basicité de l'eau) ;
- oxydabilité au permanganate de potassium (dosage des matières organiques présentes dans l'eau en milieu basique et à chaud).

c) Analyses colorimétriques

Les analyses colorimétriques nécessitent l'utilisation de réactifs chimiques et aussi d'appareils de mesures comme le comparateur hydrocure et le spectrophotomètre d'absorption moléculaire pour la mesure des concentrations des différents anions contenus dans l'eau comme :

- le fer total Fe^{2+} , Fe^{3+} ;
- les sulfates SO_4^{2-} ;
- les nitrites NO_2^- ;
- les nitrates NO_3^- ;
- l'azote ammoniacal NH_4^+

I.4. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU BRUTE MANDROSEZA

Date du prélèvement : 04/03/14

Paramètres	unités	EB
Température	°C	23,5
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	28,1
Minéralisation	mg.L^{-1}	24
Turbidité	NTU	20,7
pH	//	7,16
Oxydabilité au KMnO_4 en milieu alcalin (MO)	$\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$	1
Fe	mg.L^{-1}	0,6
TA	°F	0
TAC	°F	1,4
TH	°F	1,5
THCa	mg.L^{-1}	1,4
Cl⁻	mg.L^{-1}	0,4
NO_2^-	mg.L^{-1}	0,055
NO_3^-	mg.L^{-1}	0
SO_4^{2-}	mg.L^{-1}	7,44
NH_4^+	mg.L^{-1}	0,06

Tableau 1: Résultats des analyses des eaux brutes

I.5. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'éclaircir le mode expérimental concernant notre étude ainsi que les appareils et les réactifs utilisés. Nous avons d'abord décrit la préparation des solutions nécessaires à nos essais, ensuite la technique de Jar-test et enfin la détermination des caractéristiques de l'eau brute de Mandroseza.

Chapitre II. INFLUENCE DU TEMPS DE MATURATION D'UN COAGULANT

II.1. INTRODUCTION

Le sulfate d'Aluminium (SA) est un coagulant très efficace pour l'élimination des matières colloïdales, d'ailleurs, la JIRAMA utilise ce type de coagulant pour le traitement des eaux. Notre étude a pour but d'améliorer la qualité de ces eaux pour la consommation et par la suite d'éliminer le plus grand nombre possible de constituants organiques dans l'eau. C'est pourquoi, nous avons essayé de tester l'efficacité du Sulfate d'aluminium sur la coagulation en fonction de son temps de maturation. C'est une nouvelle technique d'amélioration de la coagulation-floculation.

II.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous avons effectué des prélèvements tous les jours et à la même heure pendant quatre jours du 04/03/14 jusqu' au 07/03/14. Les solutions du sulfate d'alumine et la chaux ont été préparées à chaque manipulation, en gardant chaque solution préparée précédemment pour le comparer avec la solution fraîchement préparée afin de voir l'effet de maturation. La concentration du Sulfate d'aluminium est de 10 g.L^{-1} associé avec la chaux utilisée comme adjuvant de floculation de concentration de 2 g.L^{-1} .

II.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.3.1. Effet des 24heures de maturation du Sulfate d'aluminium

Eau à traiter: eau du lac Mandroseza

Date de prélèvement 1 : 04/03/2014 heure:9h30mn

Les résultats des tests sont donnés dans le tableau suivant:

Paramètres	EB	1		2		3		4		5		6	
SA + Chaux (mg.L ⁻¹)		8(1/6)*		9(1/5)		10(1/6)		10(1/5)		11(1/6)		12(1/5)	
		frais	24h	frais	24h	frais	24h	frais	24h	frais	24h	frais	24h
Turb(NTU)	19,6	8,92	10	8,62	7,2	6,07	4,75	6,53	5,8	6,03	6,12	6,39	6,00
pH	7,42	7,08	7,09	7,05	7,10	7,06	7,15	7,09	7,19	7,13	7,10	7,16	7,14
T°C	22,4	22	21,6	22	21,7	21,9	21,6	21,6	21,6	21,7	21,7	21,7	21,3
Cond(μS.cm ⁻¹)	33,3	37,7	37,3	39,4	39,3	39	38	38,4	38,6	39,1	38,4	41,4	39,8
TDS(mg.L ⁻¹)	29	33	33	35	35	35	34	34	35	35	35	37	35
M.O(mg O ₂ .L ⁻¹)	1,25	1,5	1,3	2	1,7	0,5	0,85	1,3	1,2	1,2	1,7	2	1,1
Fer(mg.L ⁻¹)	0,35	0,1	0,09	0,09	0,1	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,04

Tableau 2 : Effet des 24Heures de maturation de Sulfate d'aluminium sur la coagulation

*1/6 : taux de la chaux à injecter (1/6 du taux de SA)

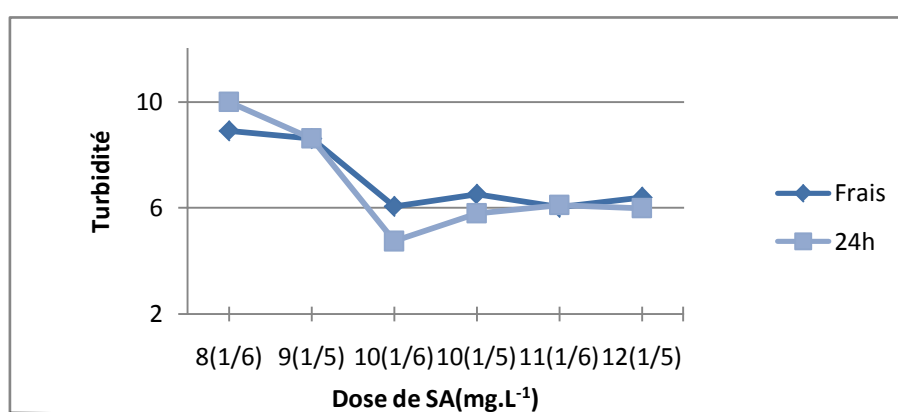


Figure 17: Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 24heures de maturation

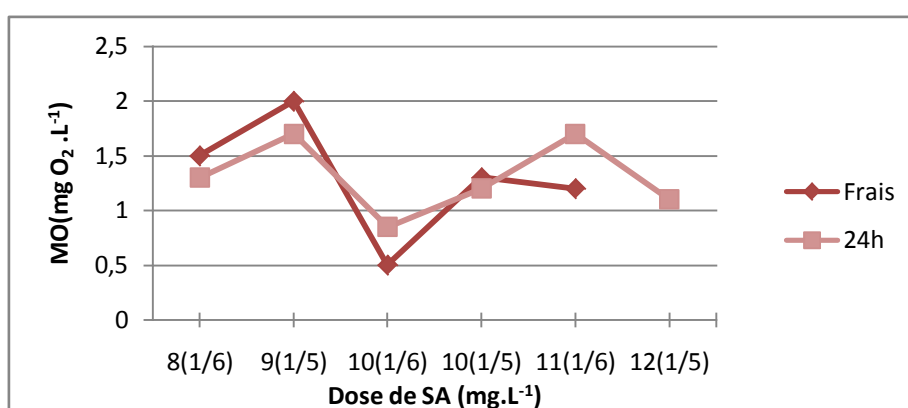


Figure 18: Courbes d'évolution des Matières organiques en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 24heures de maturation

Conclusion partielle : La dose optimale pour le traitement est de 10 mg.L^{-1} , testé à partir du prélèvement 1. À partir de ces résultats, nous pouvons remarquer que pour cette dose optimale du coagulant, les valeurs de la turbidité et des Matières organiques pour le Sulfate d'aluminium fraîchement préparé sont respectivement 6.07 NTU et 0.5 mg.L^{-1} , tandis que pour le Sulfate d'aluminium en 24heures de maturation, on constate une diminution de la turbidité qui est égale à 4.75 NTU . Nous pouvons dire alors que le temps de maturation de Sulfate d'aluminium a un impact sur l'élimination de la turbidité dans la coagulation-floculation.

II.3.2. Effet des 48heures de maturation du Sulfate d'aluminium

Eau à traiter: eau du lac Mandrozeza

Date de prélèvement 2 : 05/03/2014 heure : 9h20mn

Les résultats des tests sont donnés dans le tableau suivant:

Paramètre	EB	1		2		3		4		5		6	
SA +Chaux (mg.L^{-1})		11(1/6)		10(1/5)		10(1/6)		9.5 (1/5)		9(1/6)		8(1/5)	
		frais	48h	frais	48h	frais	48h	frais	48h	frais	48h	frais	48h
Turb(NTU)	22,9	6,91	6,11	6,52	5,56	5,73	4,60	6,55	5,72	7,06	6,38	8,32	7,69
pH	7,04	7,10	7,07	7,19	6,99	7,16	6,91	7,15	7,02	7,13	6,95	7,10	6,99
T°C	23,4	21,8	21,7	22	21,6	21,9	21,6	21,8	21,7	22	21,7	22	21,6
Cond($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	32,3	39,6	37,6	39,6	37,3	38,9	36,9	39	37,2	38,4	36,6	38,6	36,2
TDS(mg.L^{-1})	29	35	34	35	34	35	33	35	33	34	33	34	32
M.O($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	1,6	1,6	1,1	1,25	1,5	1,2	1,2	0,85	1,3	1,9	1,5	1,2	1,3
Fer(mg.L^{-1})	0,35	0,06	0,04	0,05	0,07	0,05	0,07	0,08	0,10	0,07	0,09	0,1	0,15

Tableau 3: Effet des 48Heures de maturation de Sulfate d'aluminium sur la coagulation

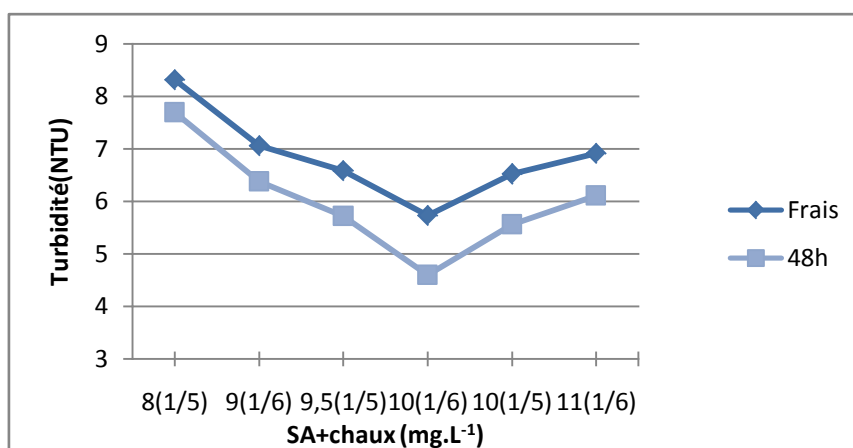


Figure 19: Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 48heures de maturation

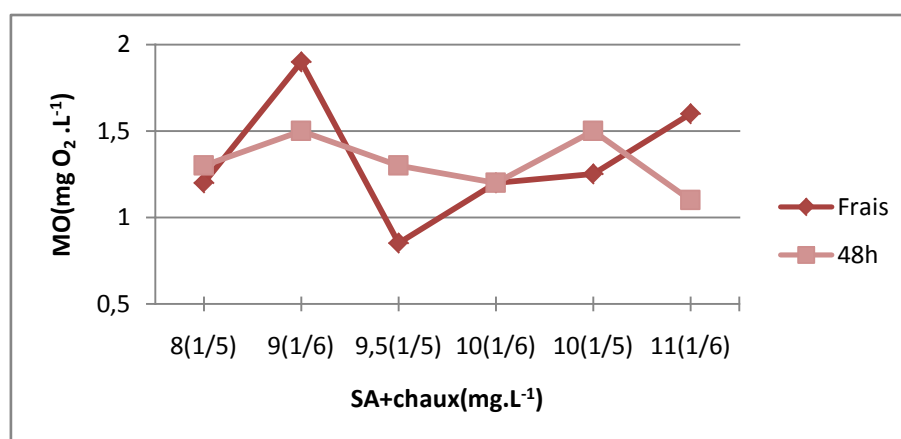


Figure 20: Courbes d'évolution des Matières organiques en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 48heures de maturation

Conclusion partielle : La dose optimale pour le traitement est toujours de 10mg.L⁻¹, testé à partir du prélèvement 2. A partir de ces résultats, nous pouvons observer que pour cette dose optimale du coagulant ; la turbidité pour le Sulfate d'aluminium fraîchement préparé est de 5,73NTU, et pour le Sulfate d'aluminium en 48heures de maturation, 4,60 NTU. Les Matières organiques restent constantes de valeur 1,2mg.L⁻¹. Nous pouvons dire alors que les 48heures de maturation de SA sont plus avantageux par rapport à l'emploi du Sulfate d'aluminium fraîchement préparé.

II.3.3. Effet des 72heures de maturation du Sulfate d'aluminium

Eau à traiter: eau du lac Mandrozeza

Date de prélèvement 3: 06/03/2014 heure : 9h35mn

Les résultats des tests sont donnés dans le tableau suivant:

Paramètre	EB	1		2		3		4		5		6	
SA + Chaux (mg.L ⁻¹)		11(1/6)		10(1/5)		10(1/6)		9,5(1/5)		9(1/6)		8(1/5)	
		frais	72h	frais	72h	frais	72h	frais	72h	frais	72h	frais	72h
Turb(NTU)	23,7	5,95	6,13	5,3	6,21	4,6	5,41	6,00	5,83	6,06	5,96	6,89	8,43
pH	7,54	7,45	7,42	6,98	7,37	7,01	7,16	7,01	7,12	7,18	7,11	7,06	7,10
T°C	22,9	22,5	21,4	22,4	21,3	22,4	21,4	22,4	21,4	22,2	21,7	22,5	21,7
Cond(µS.cm ⁻¹)	33,4	37,8	37,3	38,6	38,6	38,1	36,8	38,4	36,9	37,4	36,5	37,6	36,5
TDS(mg.L ⁻¹)	29	33	33	34	35	33	33	34	33	33	32	33	32
M.O(mg O ₂ .L ⁻¹)	1,5	1,2	0,8	1,15	1,2	1,45	1,3	1,4	1,3	1,5	1,15	1,4	1,4
Fer(mg.L ⁻¹)	0,35	0,05	0,1	0,06	0,08	0,04	0,08	0,05	0,11	0,04	0,20	0,07	0,29

Tableau 4 : Effet des 72Heures de maturation de Sulfate d'aluminium sur la coagulation

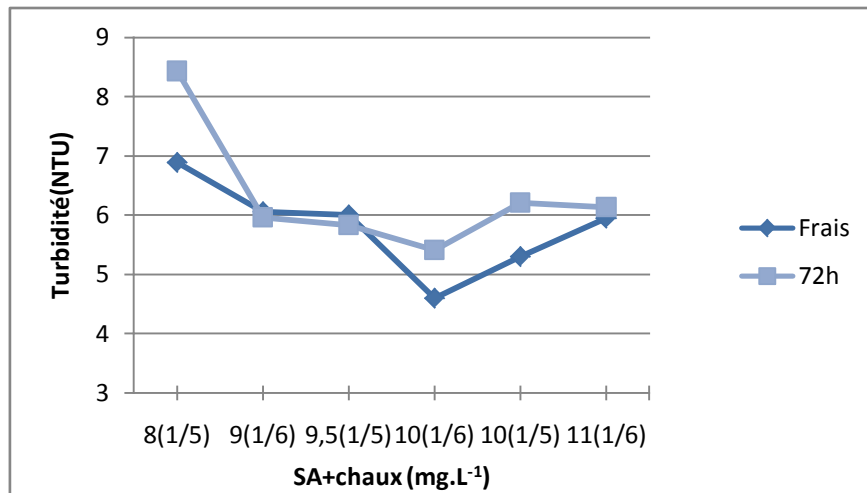


Figure 21: Courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 72heures de maturation

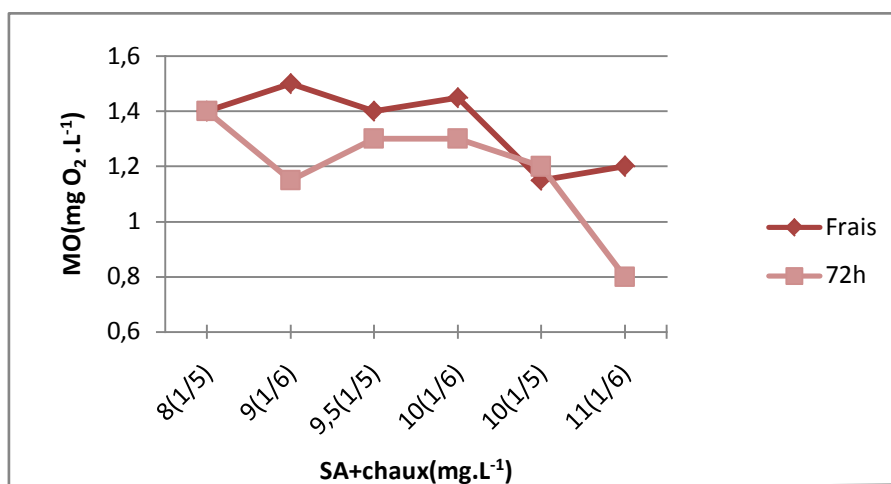


Figure 22: Courbes de Matières organiques en fonction de la dose du coagulant pour Sulfate d'aluminium fraîchement préparé et Sulfate d'aluminium en 72heures de maturation

Conclusion partielle : La dose optimale pour le traitement est de 10mg.L⁻¹, testé à partir du prélèvement 3. Pour cette dose optimale, les valeurs de la turbidité et des Matières organiques pour le Sulfate d'aluminium fraîchement préparé sont respectivement 4,6NTU et 1,45mg.L⁻¹, et pour le Sulfate d'aluminium laissé pendant 72heures : 5,41NTU pour la turbidité et 1,3mg.L⁻¹ pour les Matières organiques. On constate une augmentation de la valeur de la turbidité pour le Sulfate d'aluminium 72heures de maturation. Les rendements d'élimination ne sont plus satisfaisants.

Essais non concluants pour les 96heures de maturation du Sulfate d'aluminium.

II.4. ETUDE COMPARATIVE

Nous avons résumé dans ce tableau l'effet de temps de maturation du Sulfate d'aluminium, en comparant les différents paramètres obtenus dans chaque période pour un même prélèvement de l'eau de surface Mandrozeza.

Eau à traiter: eau du lac Mandrozeza

Date de prélèvement 4 : 07/03/2014 heure : 11heures

SA+ Chaux (mg.L ⁻¹)	10(1/6)				
Temps de maturation (heures)	0	24	48	72	96
Turbidité(NTU)	4,12	3,24	3,52	3,65	3,85
pH	7,07	7,09	7,01	7,12	7,10
Cond(μS.cm ⁻¹)	39,2	39,2	38,9	38,8	38,7
TDS(mg.L ⁻¹)	34	34	34	34	34
T°C	22,7	22,7	22,5	22,5	22,5
MO (mgO ₂ .L ⁻¹)	0,8	0,85	0,9	1	1,1
Fer (mg.L ⁻¹)	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05

Tableau 5 : Comparaison des différents paramètres en fonction des temps de maturation

La détermination du rendement d'élimination de la turbidité par rapport au Sulfate d'aluminium frais est présentée dans le tableau 6 :

Temps de maturation	24	48	72	96
%élimination de la turbidité	21,36	14,57	11,41	6,56

Tableau 6 : Rendement d'élimination de la turbidité en fonction des temps de maturation par rapport au Sulfate d'aluminium fraîchement préparé

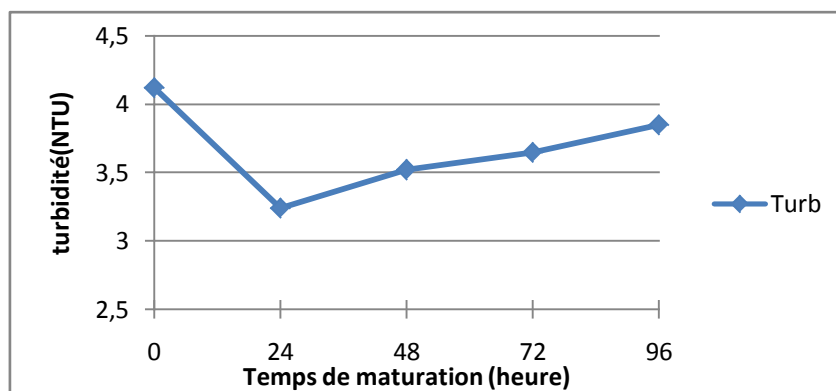


Figure 23 : Courbe d'évolution de la turbidité en fonction du temps de maturation du Sulfate d'aluminium

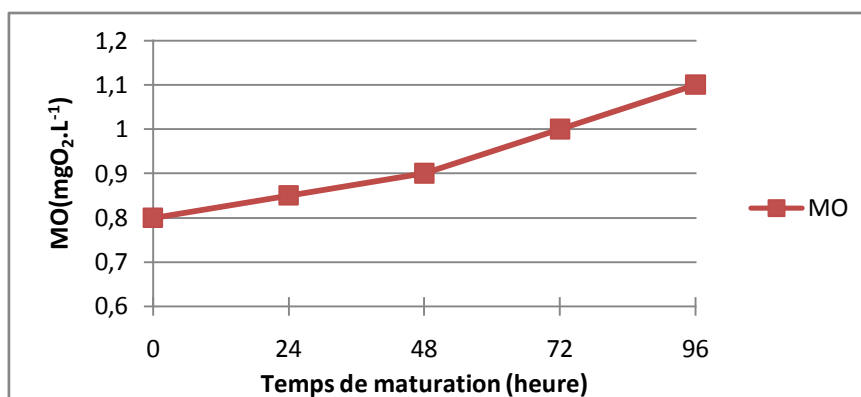


Figure 24 : Courbe d'évolution des MO en fonction du temps de maturation du SA

D'après les résultats obtenus, les temps de maturation de Sulfate d'aluminium améliorent le rendement d'élimination de la turbidité, la meilleure élimination se trouve entre 24heures et 48heures de maturation, mais au delà de ces périodes le Sulfate d'aluminium en maturation n'a plus d'effet sur la coagulation, quant aux Matières organiques, les résultats ne sont pas satisfaisants car il se trouve que les Matières organiques augmentent progressivement à chaque temps de maturation. On peut dire alors que l'effet du temps de maturation du coagulant est efficace pour l'élimination de la turbidité mais pas pour les Matières organiques.

II.5. CONCLUSION

Le temps de maturation du Sulfate d'aluminium joue un rôle non négligeable sur l'efficacité de la coagulation-floculation se traduisant par une nette diminution de la turbidité de l'ordre de 20% par rapport à la préparation fraîche de Sulfate d'aluminium. Les 24heures de maturation du Sulfate d'aluminium sont les meilleurs pour éliminer les matières colloïdales. Sur le plan pratique, l'augmentation du temps de maturation du Sulfate d'aluminium est obtenu par augmentation du volume du bac à Sulfate d'aluminium.

Chapitre III. INFLUENCE DU pH

III.1. INTRODUCTION

Le pH est un des paramètres qui affecte beaucoup plus la coagulation-floculation. Son contrôle est donc conseillé. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation. Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui donne une meilleure précipitation. Notre étude a pour objectif de déterminer le pH optimal pour que la coagulation floculation soit efficace.

III.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Dans un premier temps, le pH a été ajusté de 6 à 8 afin d'obtenir un pH de coagulation précis, mais la dose du coagulant à injecter est constante c'est-à-dire sa dose optimale (10mg.L^{-1} , tableau 8). Selon les besoins, nous avons utilisé de l'acide sulfurique pour baisser le pH, ou de l'hydroxyde de calcium pour l'augmenter. La solution d'hydroxyde de calcium est préparée en diluant 2 g de Ca(OH)_2 en poudre dans un litre d'eau distillée. L'acide sulfurique utilisé était une solution de 0,02 N.

Dans un second temps, nous avons varié la concentration du coagulant :

1^{er} essai : à pH libre (sans ajustement)

2^e essai : à pH optimal.

III.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.3.1. Détermination du pH optimal

En essayant de voir l'effet du pH, le prélèvement d'un échantillon d'eau du 31/03/2014, où la température est $22,1^\circ\text{C}$, est traité par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, avec des pH allant de 8,37 à 6,07 et pour chaque pH, différents paramètres sont mesurés. La dose du coagulant à injecter est de 10 mg.L^{-1} (taux optimum : tableau 8). Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 7.

Paramètres	EB	Dose injectée SA (10mg.L ⁻¹)					
		Sans ajustement	Ajustement par H ₂ SO ₄		Ajustement par Ca(OH) ₂		
pH	7,88	7,14	6,07	6,85	7,24	7,56	8,37
T°C	22,1	20,0	20,0	19,9	20,1	20,3	20,4
Cond(μS.cm ⁻¹)	30,3	38,2	55,7	43,2	40,3	43,5	45,2
TDS(mg.L ⁻¹)	28	32	46	37	34	37	38
Turb (NTU)	15,2	3,07	14,4	7,81	2,9	2,7	3,4
MO(mg O ₂ .L ⁻¹)	1,45	0,8	1,4	1,3	1,2	1,15	1,05

Tableau 7 : effet du pH sur la coagulation

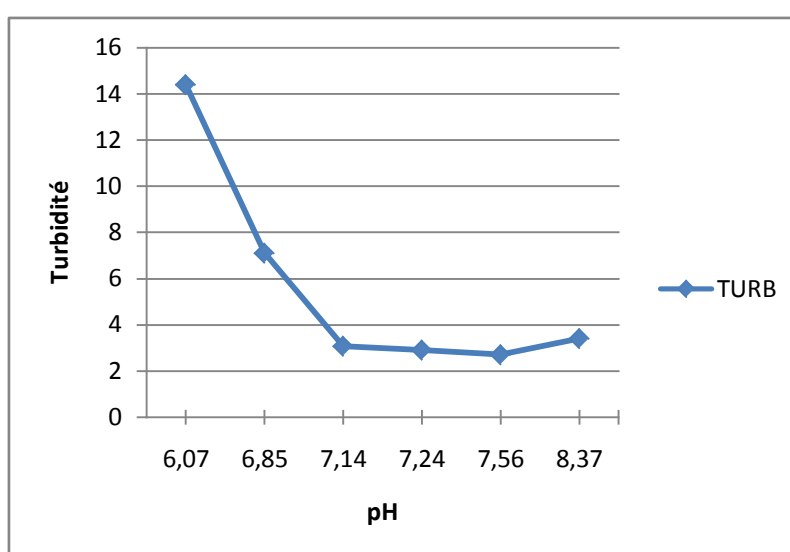


Figure 25 : Variation de la turbidité en fonction du pH

A partir de l'essai de floculation « jar test », on a remarqué que la valeur initiale du pH pour l'eau prélevée est 7,88. Cette valeur a diminué après injection le 10mg.L⁻¹ du coagulant (pH=7,14).

Par ailleurs, nous avons constaté que l'addition progressive de l'acide sulfurique dans l'eau à traiter a provoqué une baisse de pH de 6,85 à 6,07. Cette baisse de pH peut être expliquée par le fait que l'ajout de l'acide dans l'eau entraîne une libération d'ions H⁺. Or cette diminution a entraîné une forte augmentation de la turbidité (Turb=14,4NTU).

Par contre, l'addition progressive de la chaux a entraîné l'augmentation du pH de 7,24 à 8,37. Grace à cet ajustement par la chaux, on a trouvé un meilleur rendement d'élimination de la turbidité. La figure 25 montre que le pH optimal se situe entre 7,2 et 7,5, ce qui correspond à

la dose optimale du sulfate d'aluminium 10g.L^{-1} et de la chaux 2g.L^{-1} . De plus, la chaux est un adjuvant du sulfate d'aluminium dans la coagulation.

La plage de pH optimal correspond au minimum à la solubilité des ions Al^{3+} ou Fe^{3+} . En d'autre terme, elle correspond à la formation de maximum de précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$ et $\text{Fe}(\text{OH})_3$. D'une manière générale, au pH optimal correspond une turbidité minimale suite à une vitesse de sédimentation élevée.[5]

D'après le cas que nous avons étudié, l'élimination plus importante de la turbidité est à $\text{pH}=7,56$, cela s'explique par la forte interaction entre les formes hydrolysées de l'aluminium et les matières en suspension. En plus à cette gamme de pH (7 à 7,5), les formes solubles de l'aluminium sont très disponibles. Par contre à $\text{pH} > 8$ et à $\text{pH} < 7$, on a une faible interaction entre les formes hydrolysées de l'aluminium et les matières en suspension.

III.4. ETUDE COMPARATIVE

a) Détermination de la dose optimum de coagulant à pH libre

Les résultats obtenus par les essais de jar-test réalisés le 31/03/14 sont regroupés dans le tableau 8.

Paramètres	EB	SA(mg.L^{-1})					
		8	9	10	11	12	13
T°C	22,1	20,3	20,2	20,2	20,4	20,4	20,4
Cond($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	30,3	41,8	42	41,8	43,1	43,1	43,1
TDS(mg.L^{-1})	28	36	35	35	35	36	35
pH	7,88	7,26	7,22	7,26	7,15	7,19	7,16
Turb (NTU)	15,2	5,8	3,85	3,1	3,3	3,42	3,56
MO($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	1,65	1,4	1,1	0,95	0,85	0,95	0,9

Tableau 8: Résultats de l'essai de floculation à pH libre

b) Détermination de la dose optimum de coagulant à pH=7,56

Paramètres	EB	SA(mg.L ⁻¹)					
		8	9	10	11	12	13
pH	7,88	7,56					
T°C	22,1	20,2	20,3	20,2	20,2	20,4	20,4
Cond(μS.cm ⁻¹)	30,3	41,8	42	41,8	43,1	43,1	43,1
TDS (mg.L ⁻¹)	28	35	35	35	36	36	36
Turb (NTU)	15,2	5,5	3,7	2,5	3,3	3	3,1
MO(mg O ₂ .L ⁻¹)	1,65	1,1	0,94	0,9	0,85	0,95	0,6

Tableau 9 : Résultats de l'essai de floculation à pH=7,56

La détermination des rendements d'élimination de la turbidité et matières organiques est présentée dans le tableau 10 et les figures 28, 29 illustrent les résultats.

Paramètres	La dose injectée de SA (Al ₂ (SO ₄) ₃) (10mg.L ⁻¹)			
	pH libre	% élimination	pH=7.56	% élimination
TURB(NTU)	3,1	79,61	2,5	83,55
MO(mg O ₂ .L ⁻¹)	0,95	42,42	0,9	45,46

Tableau 10 : Rendements d'élimination de la turbidité et des Matières organiques pour 10mg.L⁻¹ de coagulant à pH libre et à pH 7,5.

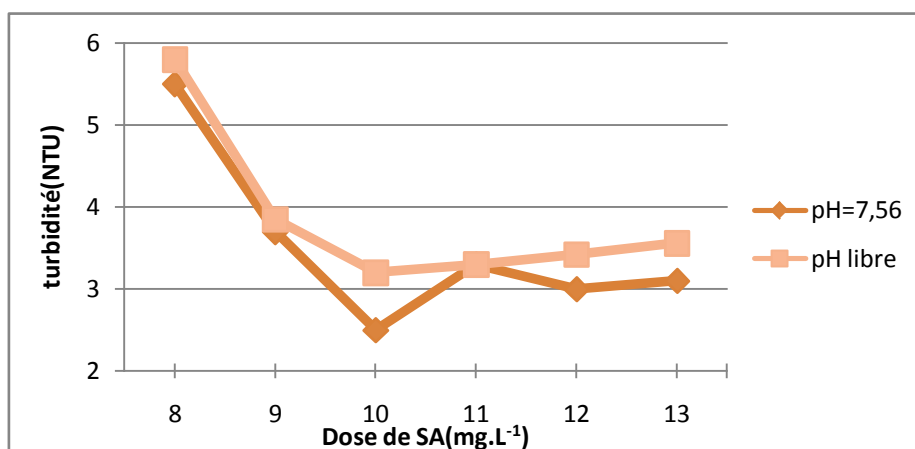


Figure 26 : Variation de la turbidité en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium à pH =7,56 et à pH libre

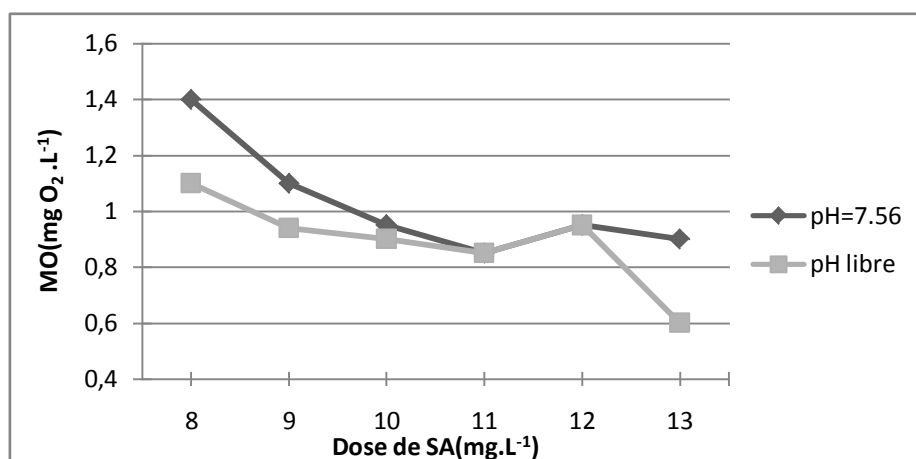


Figure 27: Variation des Matières organiques en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium à pH =7,56 et à pH libre

- **Coagulation-floculation à pH libre**

Ces résultats montrent une diminution régulière de la valeur des Matières organiques quand la dose de coagulant augmente (10 à 13mg.L⁻¹). L'élimination de la turbidité diminue également et se stabilise pour des doses de coagulant supérieures à 10mg.L⁻¹. Les rendements d'élimination des Matières organiques sont beaucoup plus faibles que les rendements d'élimination de la turbidité. Pour une dose de coagulant de 10mg.L⁻¹, et pour des valeurs initiales de turbidité et des Matières organiques de 15,2 NTU et de 1,45mg.L⁻¹ respectivement, on a obtenu des rendements d'élimination de l'ordre de 42,42% pour la Matières organiques et de 79,61% pour la turbidité.

- **Coagulation-floculation à pH= 7,56**

Des essais de jar test ont été également réalisés à pH =7,56. Les résultats obtenus (Figures 26 et 27) montrent que les valeurs des deux paramètres (Matières organiques et turbidité) diminuent régulièrement quand la dose de coagulant augmente. La plage de la dose optimale observée dans le cas des essais à pH libre est conservée (10mg.L⁻¹). Les résultats montrent alors que le pH n'a pas modifié la zone de coagulation optimale. Les rendements d'élimination sont toutefois nettement plus importants à pH =7,56. La turbidité est éliminée à 83,55%.

Le tableau 10 montre les pourcentages d'élimination de la turbidité et des Matières organiques à pH libre et à pH=7,56 pour une dose de coagulant de 10mg.L⁻¹. Les résultats montrent que

les rendements d'élimination de la turbidité et des Matières organiques sont plus élevés à pH 7,56. La turbidité est mieux éliminée que les Matières organiques.

La comparaison entre la coagulation floculation à pH libre et coagulation floculation à pH=7,56 (ajusté par la chaux) montre que la correction du pH par la chaux améliore considérablement le taux d'abattement ; mais pour le cas des Matières organiques, d'après la figure 29, les résultats restent insuffisants.

III.5. CONCLUSION

Nous avons montré que l'efficacité du traitement de coagulation-floculation de l'eau de la retenue dépend du pH. La zone de pH optimal est de l'ordre de 7,56 avec un taux d'abattement de la turbidité de l'ordre de 83%, et des Matières organiques 45%

Afin d'optimiser donc le traitement par coagulation floculation avec le sulfate d'aluminium, il faut ajuster le pH avec la chaux, car la solubilité minimale de $\text{Al}(\text{OH})_3$ se trouve dans la zone de pH 7,2 à 7,5. De plus, la chaux est un adjuvant du sulfate d'aluminium dans la coagulation. Si ces conditions sont respectées, le processus de coagulation- floculation sera optimal.

Chapitre IV. INFLUENCE DES ADJUVANTS DE FLOCULATION

IV.1. INTRODUCTION

Dans le souci d'étudier tout paramètre influant sur le rendement de la floculation nous nous sommes intéressés à l'influence de l'emploi d'adjuvants : produits ajoutés volontairement pour améliorer la coagulation floculation.

Afin d'améliorer la qualité des eaux de la station, notre travail consiste à l'utilisation de certains matériaux poreux, tels que le charbon actif et la chaux.

IV.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous avons testé le charbon actif comme adjuvants, en plus de la chaux déjà utilisée en station. Les essais ont été menés selon le protocole de jar-test. La dose optimale de sulfate d'aluminium déterminée au préalable est de 12mg.L^{-1} (Tableau11). On introduit dans des béchers de 1l des doses croissantes d'adjuvant, tout en gardant un bécher sans ajout comme témoin. Pour les deux adjuvants, nous avons utilisés des doses de : 1, 2, 3, 4 et 5mg.L^{-1} . Concernant le temps d'introduction de chaque adjuvant, nous avons injecté la chaux et le charbon actif en même temps que le coagulant.

IV.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.3.1. Détermination de la dose optimale de sel d'aluminium.

Les résultats obtenus par les essais de jar-test réalisés le 28 /03/14 sont regroupés dans le tableau 11.

Paramètres	Eau brute	La dose injectée de SA $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg.L^{-1})					
		8	9	10	11	12	13
Température ($^{\circ}\text{C}$)	22,2	20,6	20,7	20,7	20,9	20,8	20,9
Cond ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	32,2	33,4	34,1	34,1	34,6	35,1	36,6
TDS(mg.L^{-1})	28	31	31	31	32	32	33
Turb (NTU)	27,9	4,13	3,81	2,69	2,77	2,59	3,18
pH	7,99	7,26	7,28	7,25	7,25	7,24	7,36
MO ($\text{mg O}_2 .\text{L}^{-1}$)	1,95	1,1	0,9	0,9	1	0,9	1,2

Tableau 11 : Résultats du jar-test pour la détermination de la dose optimale

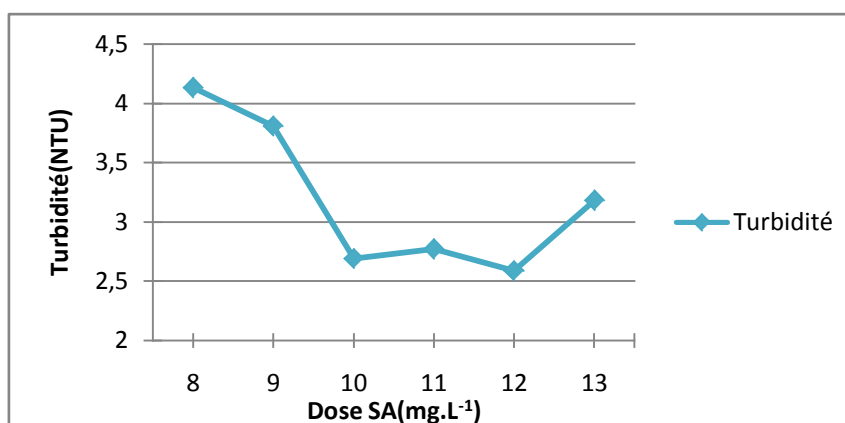


Figure 28 : Evolution de la turbidité en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium

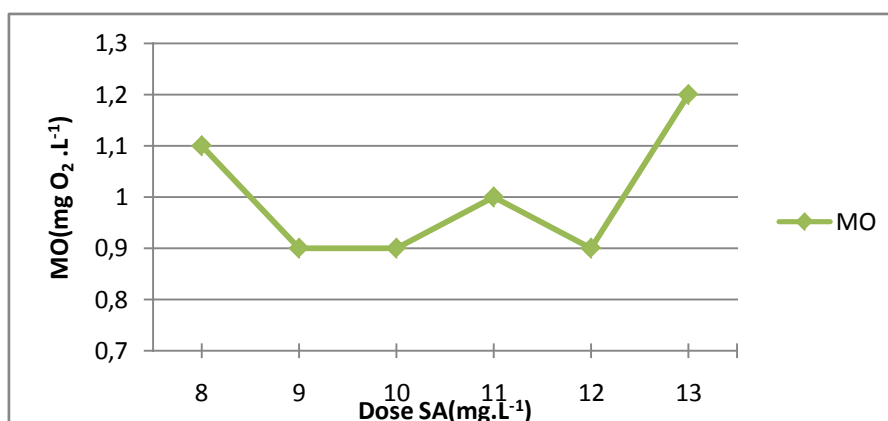


Figure 29 : Evolution des Matières organiques en fonction de la dose de Sulfate d'aluminium

A partir des résultats de Jar test sur les eaux du lac Mandroseza par des doses croissantes de sulfate d'aluminium, nous avons pu constater que le rendement d'élimination augmente

jusqu'à la dose optimale (12mg.L^{-1}) Après cette dose il se produit l'effet inverse du sulfate d'alumine (décoagulation).

IV.3.2. Utilisation des adjuvants

Nous avons testé au cours de notre étude deux types d'adjuvants selon le rôle que peut accomplir chacun d'eux. Il s'agit de la chaux et le charbon actif en poudre.

a) Influence de la chaux éteinte sur la coagulation floculation

Les résultats des essais de jar-test, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans le tableau 4.

- Dose de Sulfate d'aluminium= 12mg.L^{-1}

Paramètres	Eau brute	La dose injectée de la chaux Ca(OH)_2 (mg.L^{-1})					
		0	1	2	3	4	5
Température ($^{\circ}\text{C}$)	22,2	21,8	21,8	22,1	22	22	21,8
Cond ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	32,2	37,4	37,3	37,8	39	39,3	38
TDS (mg.L^{-1})	28	35	34	35	36	37	35
TUR (NTU)	27,9	2,69	2,52	2,61	2,36	2,21	2,42
pH	7,99	7,32	7,26	7,23	7,17	7,10	7,10
MO ($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	1,95	0,95	0,55	0,65	0,55	0,7	0,9

Tableau 12: Influence de la dose de la chaux sur le rendement de la floculation.

La dose de Sulfate d'aluminium est de 12mg.L^{-1} . D'après les résultats obtenus, la dose optimale de Ca(OH)_2 est de 3mg.L^{-1} correspond à la turbidité de 2,36NTU et matières organiques $0,55\text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$.

b) Influence de la dose de CAP sur la coagulation-floculation

Les résultats des essais de jar-test, obtenus après ajout de chaque dose de charbon actif, sont regroupés dans le tableau 13.

- Dose de Sulfate d'aluminium= 12mg.L^{-1}

Paramètres	Eau brute	La dose injectée de CAP (mg.L ⁻¹)					
		0	1	2	3	4	5
Température (°C)	22,2	21,7	21,6	21,4	21,6	21,6	21,7
Cond (µS.cm ⁻¹)	32,2	37,1	36,3	35,6	35,8	36	35,8
TDS (mg.L ⁻¹)	28	34	34	33	33	33	33
TUR (NTU)	27,9	2,59	3,01	2,46	2,95	2,59	2,66
pH	7,99	7,29	7,32	7,39	7,29	7,23	7,21
MO(mg O ₂ .L ⁻¹)	1,95	0,9	0,6	0,25	0,4	2,25	2

Tableau 13: Influence de la dose de charbon actif sur le rendement de la floculation

La dose de sulfate d'alumine est fixée à 12mg.L⁻¹, dose optimale obtenue par jar-test.

D'après les résultats obtenus, la quantité de charbon actif en poudre qui permet l'abattement de la turbidité et des matières organiques est de 2mg.L⁻¹, au delà de cette valeur une désorption se produit. Pour cette dose, les valeurs de la turbidité et des matières organiques sont respectivement 2,46 NTU et 0,25 mg O₂ .L⁻¹.

IV.4. ETUDE COMPARATIVE

Nous avons regroupé dans le tableau 14, les rendements optimums d'élimination de la turbidité et des matières organiques obtenus avant et après addition de deux adjuvants. Pour mieux illustrer ces résultats, nous avons porté sur les figures 30 et 31, respectivement la turbidité et les matières organiques en fonction de la dose des adjuvants.

Paramètres	La dose injectée de SA (Al ₂ (SO ₄) ₃) (12mg.L ⁻¹)					
	Sans adjuvant	% élimination	Adjuvant chaux (3mg.L ⁻¹)	% élimination	Adjuvant CAP (2mg.L ⁻¹)	% élimination
TURB(NTU)	2,59	90,72	2,36	91,54	2,46	91,18
MO(mgO ₂ .L ⁻¹)	0,9	53,85	0,55	71,79	0,25	87,18

Tableau 14 : Rendement optimum d'élimination (%) de la turbidité et des Matières organiques en fonction de l'adjuvant utilisé

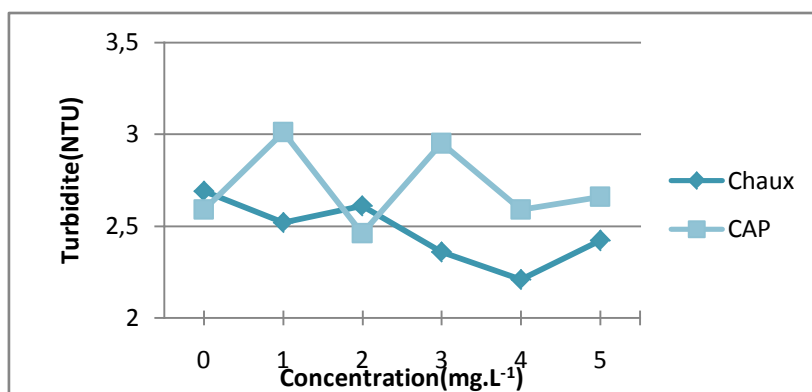


Figure 30 : Influence des adjuvants sur la turbidité

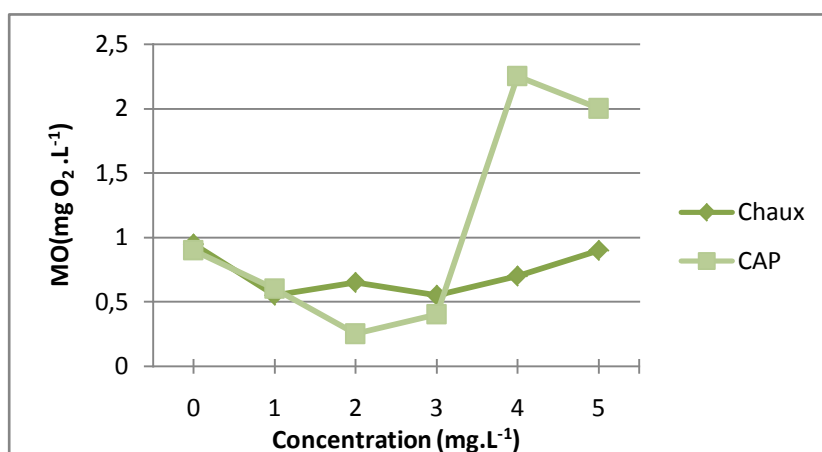


Figure 31 : Influence des adjuvants sur les Matières organiques

Les résultats obtenus montrent que l'ajout de l'adjuvant a permis une amélioration des rendements d'élimination de la turbidité et des matières organiques par rapport à l'utilisation de sulfate d'alumine seul. La dose optimale de la chaux est de 3mg.L⁻¹. En effet, l'ajout d'une substance alcaline conduit à la formation d'hydroxyde d'aluminium grâce à l'augmentation du pH aboutissant à un mécanisme de coagulation.

Dans le cas du charbon actif, les résultats obtenus montrent que ce dernier permet l'élimination de 91,18% de la turbidité et 87,18 % des matières organiques, pour une dose optimale de 2mg.L⁻¹. L'ajout d'adjuvant a donc amélioré le rendement de la coagulation floculation par rapport au rendement obtenu sans adjuvant. Au vu des résultats, il en ressort que le charbon actif est moins efficace dans l'élimination de la turbidité. $\Delta\eta_{\text{chaux}} > \Delta\eta_{\text{charbon actif}}$. Par contre la chaux est l'adjuvant le moins efficace dans l'abattement des matières organiques. Dans ce cas, le charbon actif est le plus efficace. $\Delta\eta_{\text{charbon actif}} > \Delta\eta_{\text{chaux}}$.

Ainsi, la comparaison des deux adjuvants montre que le charbon actif est le plus efficace, il conduit à une réduction de 87,18% des Matières organiques pour 2mg.L⁻¹. Au-delà de cette

valeur une désorption se produit. Le charbon actif demeure un adsorbant très efficace dans l'élimination des matières organiques.

IV.5. CONCLUSION

L'injection d'adjuvants avec le sulfate d'alumine est nécessaire pour le traitement des eaux très chargées en matières organiques.

L'utilisation des adjuvants comme le charbon actif pour l'amélioration de la qualité des eaux destinées à la consommation, nous semble être une solution intéressante pour remplacer la chaux en cas de forte teneur en Matières organiques pour éviter la formation de THM (trihalomethane) au cours de la désinfection.

CONCLUSION GENERALE

Les essais de traitements ont été faits dans le laboratoire central de la JIRAMA Mandrozeza. Dans ce travail nous avons étudié plus particulièrement l'élimination de la turbidité et les matières organiques qui représentent les principaux objectifs de traitement à la station.

La première partie du mémoire a donc consisté à une description de la JIRAMA Mandrozeza, et les procédés de traitement des eaux de surface, en particulier le procédé de la coagulation-floculation.

La seconde partie de notre travail a été consacrée à la présentation des résultats des essais expérimentaux que nous avons réalisés dans le cadre de cette étude. Structurés en plusieurs chapitres, cette étude expérimentale a permis la description détaillée des réactifs utilisés, ainsi que des protocoles expérimentaux suivis au cours des essais. Ces essais ont été réalisés sur différents prélèvements des eaux du lac Mandrozeza.

Le but principal de cette étude est donc d'apporter une nouvelle approche et d'utiliser le CAP comme adjuvant de floculation pour avoir des résultats plus intéressants, en vue d'améliorer la qualité d'eau traitée dans la station.

Dans un premier temps, nous avons montré que le sulfate d'alumine laissé pendant un certains temps est plus avantageux par rapport à celle du sulfate d'alumine fraîchement préparé. Dans cette étude, nous avons constaté que le meilleur pourcentage d'élimination est en 24heures de maturation du Sulfate d'aluminium.

Le pH est l'un des paramètres le plus important qu'il faut noter, du fait qu'il joue un rôle déterminant dans la coagulation. Ainsi, il a été démontré que la mise en œuvre d'un ajustement du pH à 7,56 dans la phase de coagulation-floculation permet d'avoir une meilleure élimination des matières colloïdales.

Enfin, les essais au laboratoire ont montré qu'on pouvait améliorer davantage le traitement de l'eau en utilisant le charbon actif en poudre comme adjuvant de floculation car il s'est avéré que le charbon actif demeure un adsorbant très efficace dans l'élimination des matières organiques.

Aussi, notre étude nous a permis de conclure que les phases de clarification des eaux de la station de traitement de la JIRAMA pouvaient être améliorées sur la base de nos différents essais expérimentaux.

ANNEXES

ANNEXE I : ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA JIRAMA MANDROZEZA

But : L'analyse physico-chimique permet d'avoir les caractéristiques d'une eau quelconque facilitant ainsi la recherche du mode de traitement correspondant.

• Analyse Physique

Les analyses physiques sont effectuées à l'aide des appareils de mesure et lecture directe des résultats.

1. Mesure du pH (potentiel hydrogène)

La mesure du pH permet de savoir l'acidité ou la basicité de l'eau.

Appareil utilisé : Ionomètre

Résultat : pH = lecture directe

2. Mesure de la conductivité

La conductivité est la mesure de la salinité de l'eau.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475\text{cm}^{-1}$ et Température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : Conductivité = lecture directe (unité : $\mu\text{S.cm}^{-1}$)

3. Température de l'eau

La conductivité est fonction de la température de l'eau.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475\text{cm}^{-1}$ et Température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : T° = lecture directe (unité : $^{\circ}\text{C}$)

4. Minéralisation totale de l'eau

Cette mesure permet d'avoir le taux total des éléments minéraux dans l'eau à analyser.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475\text{cm}^{-1}$ et Température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : TDS = lecture directe après avoir changé option en TDS (unité mg.L^{-1})

5. Turbidité

C'est la mesure de la transparence du liquide qui reflète l'absence des matières non dissoutes.

Appareil utilisé : Turbidimètre

Résultat : Turbidité = lecture directe (unité NTU) ; plus la turbidité est faible, plus l'eau est propre (aspect : limpide)

• Analyse Chimique

Les analyses chimiques se particularisent par l'utilisation de divers réactifs chimiques (catalyseur, indicateur coloré, ...) et utilisent des appareils pour faciliter la lecture des résultats. Ces analyses chimiques ont été catégorisées en deux : analyse colorimétrique et volumétrique (différent de l'autre par l'utilisation d'une solution titrante)

1. Analyse volumétrique

§ Principe

L'analyse consiste à ajouter dans la solution à analyser différents réactifs correspondant au paramètre recherché et à titrer cette solution par un autre réactif neutralisant ceux présent dans la solution. Le résultat correspond au volume de solution versée après virage de l'indicateur coloré.

§ Analyse dureté total (teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+}) et dureté calcique (teneur en Ca^{2+}) : TH / TH_{Ca}

	TH dureté total	TH_{Ca} dureté calcique
Solution à titrer	Eau (diluée ou non)	Eau (diluée ou non)
Solution titrante	E.D.T.A (acide éthylène diamine tétra acétique) ou complexon III	E.D.T.A (acide éthylène diamine tétraacétique) ou complexon III
Solution tampon / catalyseur	Tampon TH (pH : 10)	Solution NaOH 3N (pH : 12)
Indicateur coloré	NET 0,4% (noir ériochrome T, couleur violet)	Poudre de Patton et Reeder (couleur bleu violet)
Couleur de départ	Rouge vineuse	Rouge vineuse
Virage couleur	Bleu vert	Bleu
Expression résultats	°F TH (Volume versé pour 100 mL)	°F TH_{Ca} (Volume versé pour 100 mL)

°F : Degré Français

$\text{TH} > \text{TH}_{\text{Ca}}$, $\text{TH} - \text{TH}_{\text{Ca}} = \text{TH}_{\text{Mg}}$; °F Ca = 4 mg.L^{-1} ; °F Mg = $2,43 \text{ mg.L}^{-1}$

§ Analyse Chlorure Cl^-

- Solution à titrer : Eau

- Solution titrante : Solution Nitrate d'Argent AgNO_3

- Indicateur coloré : Goutte de Chromate de Potassium 10% K_2CrO_4

- Couleur de départ : Jaune
- Virage couleur : rouge brique
- Expression résultat : $Cl^- (mg.L^{-1}) = V \text{ mL} * 35,5$

§ Analyse titre alcalimétrique TA / TAC

	TA (titre alcalimétrique) Existence couleur rose ; titrage	TAC (titre alcalimétrique complet)
Solution à titrer	Eau (diluée ou non)	Eau (diluée ou non)
Solution titrante	Solution H_2SO_4 N / 50	Solution H_2SO_4 N / 50
Solution tampon / catalyseur	-	-
Indicateur coloré	Phénolphthaléine	Hélianthine
Couleur de départ	Rose pH > 8,3	Jaune pH > 4,2
Virage couleur	Incolore à pH = 8,3	Jaune Orangé pH = 4,2
Expression résultats	°F TA (V versé pour 100 ml)	°F TAC (V versé pour 100 ml)

Si $TA < TAC / 2$; $HCO_3^- = (TAC - 2TA) * 12,2 \text{ mg. mL}^{-1}$; $CO_3^{2-} = 2 * TA * 6 \text{ mg.mL}^{-1}$; $OH^- = 0$

§ Dosage des Matières organiques

- Solution à titrer : Eau
- Solution Tampon : 1. $NaHCO_3$ saturé (basique) en milieu chaud
2. H_2SO_4 ½ (acide) en milieu refroidi
- Solution d'oxydation : $KMnO_4$ N / 80
- Solution de réduction : Sel de Mohr $5g.L^{-1}$
- Solution titrante : $KMnO_4$ N / 80
- Couleur de départ : incolore
- Virage couleur : rose
- Expression résultat : $MO (mg.mL^{-1}) = V1 - V0$; V1 : volume $KMnO_4$ N / 80 versé pour 100 mL d'eau à analyser, V0 : volume $KMnO_4$ N / 80 versé pour 100ml d'eau distillée blanc.

2. Analyse colorimétrique

§ Principe

L'analyse consiste à ajouter dans la solution à analyser un réactif coloré ; la couleur ainsi obtenue est fonction de la concentration de l'élément minéral recherché. Le résultat qui est la concentration correspondant à l'intensité de la couleur se lit à l'aide des appareils.

§ Analyse Nitrites NO_2^- , Nitrates NO_3^- , Sulfates SO_4^{2-} , Ammonium NH_4^+

L'appareil de lecture utilisé est le "spectrophotomètre" d'absorption moléculaire

	Nitrites	Nitrates sur colonne à cadmium	Sulfates	Ammonium
Solution à titrer	Eau	Eau	Eau	Eau
Blanc réactif	Eau distillée	Eau distillée	-	Eau distillée
Solution tampon	Solution H_3PO_4	Solution NaOH Tampon concentré	Solution HCl 1/10	Phénol alcoolique et nitropusside
Indicateur coloré	Réactif coloré	Réactif coloré	Solution BaCl_2 100g.L ⁻¹	Solution oxydante
Couleur solution	Rose	Rose	Blanc cassé	Bleu
Absorbance	540 nm	540 nm	650 nm	640 nm
Lecture	$\text{C}^\circ \text{N}(\text{NO}_2)$	$\text{C}^\circ [\text{N}(\text{NO}_3)+\text{N}(\text{NO}_2)]$	$\text{C}^\circ \text{SO}_4^{2-}$	$\text{C}^\circ \text{NH}_4^+$
Expression Résultats	$\text{NO}_2^- \text{ mg.mL}^{-1} = \text{C}^\circ \text{N}(\text{NO}_2) * 3,29$	$\text{NO}_3^- \text{ mg.mL}^{-1} = \text{C}^\circ ([\text{N}(\text{NO}_3)+\text{N}(\text{NO}_2)] - \text{C}^\circ \text{N}(\text{NO}_2)) * 4,43$	$\text{SO}_4^{2-} = \text{C}^\circ \text{ mg.mL}^{-1}$	$\text{NH}_4^+ \text{ mg.mL}^{-1} = \text{C}^\circ * 20$

§ Dosage fer total Fe

- Solution à titrer : Eau

- Réactif de réduction : Poudre de dithionite de sodium
- Réactif complexant : Diméthylglyoxine 0,5%
- Indicateur coloré : Solution Ammoniac 10%
- Couleur de la solution: rose ou rouge
- Appareil de lecture utilisé : Comparateur hydrocure et plaquette fer 0,06 à 1mg.L^{-1} ou 0,3 à 5mg.L^{-1}
- Résultat : lecture concentration correspondante à la couleur comparée sur plaquette

ANNEXE II: EXTRAIT DE NORMES MALAGASY SUR LA POTABILITE DES EAUX

NORME DE POTABILITE MALAGASY

(Décret n°2004-635 du 15/06/04)

PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	NORME
ODEUR	ABSENCE
COULEUR	INCOLORE
SAVEUR DESAGREABLE	ABSENCE

PARAMETRES PHYSIQUES	UNITE	NORME
TEMPERATURE	°C	<25
TURBIDITE	NTU	<5
CONDUCTIVITE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	<3000
pH		6,5 - 9,0

PARAMETRES CHIMIQUES	UNITE	NORME	
		MINIMA	MAXIMA ADMISSIBLE

ELEMENTS NORMAUX

CALCIUM	mg.L^{-1}		200
MAGNESIUM	mg.L^{-1}		50
CHLORURE	mg.L^{-1}		250
SULFATE	mg.L^{-1}		250
OXYGENE DISSOUS % de saturation	%	75	
DURETE TH	$\text{mg.L}^{-1}\text{en CaCO}_3$		500

ELEMENTS INDESIRABLES

MATIERES ORGANIQUES	mg.L^{-1}		2 (milieu Alcalin)
			5 (milieu Acide)
AMMONIUM	mg.L^{-1}		0,5
NITRITE	mg.L^{-1}		0,1
AZOTE TOTAL	mg.L^{-1}		2
MANGANESE	mg.L^{-1}		0,05
FER TOTAL	mg.L^{-1}		0,5
PHOSPHORE	mg.L^{-1}		5
ZINC	mg.L^{-1}		5
ARGENT	mg.L^{-1}		0,01
CUIVRE	mg.L^{-1}		1
ALUMINIUM	mg.L^{-1}		0,2

NITRATE	mg.L ⁻¹		50
FLUORE	mg.L ⁻¹		1,5
BARYUM	mg.L ⁻¹		1

ELEMENTS TOXIQUES

ARSENIC	mg.L ⁻¹		0,05
CHROME TOTAL	mg.L ⁻¹		0,05
CYANURE	mg.L ⁻¹		0,05
PLOMB	mg.L ⁻¹		0,05
NICKEL	mg.L ⁻¹		0,05
POLYCHLORO-BIPHENYL PCB	mg.L ⁻¹		0
CADMIUM	mg.L ⁻¹		0,005
MERCURE	mg.L ⁻¹		0,001

GERMES PATHOGENES ET INDICATEURS DE POLLUTIONS FECALE:

COLIFORMES TOTAUX	0/ 100mL
STREPTOCOQUES FECAUX	0 / 100mL
COLIFORMES THERMO-TOLERANTS (E.COLI)	0 / 100mL
CLOSTRIDIUM SULFITO-REDUCTEUR	<2 / 20mL

Les normes de potabilité des eaux sont différentes partout dans le monde ; cela pousse à nous de se référer à la norme Malgache.

• **Norme malgache de potabilité des eaux utilisée par la JIRAMA**

PARAMETRE VMA UNITE

- Aspect Limpide ¾
- Odeur Absence ¾
- Couleur Incolore ¾
- Température 20 à 25 °C
- pH 6.5 à 9 ¾
- Conductivité 2000 µS.cm⁻¹
- Minéralisation 500.0

VMA : Valeur Maximale Admissible pour eau potable (NM)

NM : Norme Malgaches

II- Texte préparé par des spécialistes malgaches de la qualité des eaux de boisson dans le pays, reprend les normes de l'OMS avec des adaptations jugées pertinentes au cas de Madagascar.

La proposition consiste à reprendre le texte élaboré lors de la rencontre nationale intitulée « Atelier d'uniformisation des indicateurs du secteur de l'eau et de l'assainissement ».

➤ **POTABILITE**

Définition

Toute eau destinée à l'alimentation humaine ne doit jamais être susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. Elle doit de plus, si possible, être agréable à consommer. Elle doit présenter les caractères suivants :

Caractères organoleptiques et physiques

1. L'eau doit être si possible :

- sans odeur,
- sans couleur,
- sans saveur désagréable

2. La température

La température recommandée est 15° (une température supérieure provoque la prolifération des germes) mais peu d'eau à Madagascar sont inférieures à 15 degré, voir les températures moyennes de l'air qui en première approche reflètent bien la température des eaux de substances.

3. La turbidité

La turbidité ne doit pas dépasser, si possible, 5NTU

4. La conductivité

Elle doit être mesurée dans le but de surveiller la pollution. Deux mesures doivent être faites par an au minimum :

- 2 fois par an au minimum en milieu rural (1 en saison sèche et 1 en saison humide)
- Une fois par trimestre en milieu urbain

Une analyse doit être faite dès que les conditions locales changent (installation d'usine ou d'habitation à proximité).

La conductivité devrait être si possible inférieure à 2000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ à 20°C

5. Le pH:

Le pH recommandé est compris entre 6,5 et 8,5 ;

ANNEXE III : ESSAIS DE FLOCULATION DE LA JIRAMA Mandroseza

1°/ But :

Les essais sont destinés à déterminer la nature et les doses de réactif (coagulant et floculant) chaux à utiliser pour assurer la clarification ou la déferrisation d'une eau.

2°/ Principe :

Les essais consistent à apprécier la qualité de la floculation ainsi que la turbidité minimale après introduction de quantité croissante d'ingrédients en solution dans 5 béchers de 1litre.

3°/ Matériels nécessaires :

- Un flocculateur à vitesse réglable entre 0 et 150tr.mn⁻¹ ;
- Cinq à six vases de 1litre ;
- Un siphon ;
- Un chrono ou 1 montre ;
- Matériels pour mesurer le pH, fer, M.O. ;
- Turbidimètre ;
- Agitateur.

4°/ Réactifs :

Clarification

Déferrisation

Sulfate d'Alumine (S.A.) : 10g.L⁻¹

Chaux (CH.) : 10g.L⁻¹

Chaux en amont (CH.) : 2g .L⁻¹

5°/ Mode opératoire :

- Prélever l'eau brute dans un seau de 10L. Noter son aspect.
- Mesurer la turbidité, le pH, le teneur en fer et éventuellement les matières organiques
- Remplir les béchers jusqu'au trait 1000 mL avec de l'eau brute agitée.
- Brancher le flocculateur.
- A l'aide d'une pipette, introduire dans chaque bécher des quantités croissante de réactifs.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau.
- Effectuer une agitation rapide à 100tr/mn pendant 2mn, puis une agitation lente à 40tr/mn pendant 20mn. Noter le temps d'apparition des premiers floccs.
- Après 15mn d'agitation lente, on évaluera la qualité de la floculation (aspect des floccs)
- Laisser décanter 10 à15mn. Noter la vitesse et la cohésion des boues.
- Siphonner la moitié de la hauteur d'eau de chacun des béchers.
- Contrôler le pH, la turbidité, le fer, les M.O. sur les eaux siphonnées.
- Noter chaque bécher selon la qualité de la floculation.

6°/ Expression des résultats :

Soient di : la dose de réactif dans chaque Bécher de 1l (en g.L⁻¹)

vi : le volume de réactif de concentration g.L⁻¹ à ajouter dans chaque bécher (en mL)

Bécher N°	1	2	3	4	5	6
Doses de réactifs di (en mg.L ⁻¹)						
Volume de réactif vi (en mL)						
Temps d'apparition des floes						
Aspect des floes (pas, peu visible, petit, moyen, gros)						
Décantation des floes						
Cohésion des boues						
Turbidité eau décantée (E.D.)						
pH E.D.						
Fer E.D.						
M.O. E.D.						
Notation						

CONCLUSION :

La dose optimale de réactif est celle qui correspond à la meilleure notation. (t : taux d'ingrédient g.m⁻³)

Remarques :

Le pH joue un grand rôle dans le traitement des eaux

- Cas du S.A. :

- le pH de bonne floculation (6 à 7,2) correspond à la formation maximale du précipité de Al(OH)₃
- Reaction chimique

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 18\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4 + 6\text{CO}_2 + 18\text{H}_2\text{O}$$
- Pour avoir une bonne floculation, il faut que tout le S.A. s'hydrolyse sous forme de Al(OH)₃
- D'où l'adjonction de chaux en amont pour avoir le maximum de Al(OH)₃.

Taux de chaux en amont en amont : variable entre 1 S.A., 1 S.A., 1 S.A., 1 S.A.

6 5 4 3

- Cas de la chaux (déferrisation) :

Le pH de bonne floculation (8 à 9) correspond à la formation maximale de précipité de Fe(OH)₂

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Mémento technique de l'eau
- [2] : Amel LOUNNAS, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda, 1955
- [3] : www.jirama.mg
- [4] : ANDRIAMPARANY Harijaona Daniela, contrôle et suivi des caractéristiques physico-chimique de l'eau brute de mandroseza et de l'eau distribuée par la jirama à Antananarivo, Université d'Antananarivo, département de chimie minérale et de chimie physique.
- [5] : Madame Monique RABETOKOTANY : Cours de traitement d'eau potable, LISTE III
- [6] : RAMISASOA Tatamo Mihaja , Sulfate d'aluminium et chlorure ferrique, coagulant dans le traitement des eaux
- [7] : Héctor Ricardo Hernández De León, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau Potable, Préparée au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS
- [8] : [http://www.google.com/ Coagulation-floculation principe.htm](http://www.google.com/Coagulation-floculation_principe.htm)
- [9] : Pr Amadou Hama Maiga, Traitement des eaux, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2ie)
- [10] : Mr lakhdari bouazza, Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz , université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen
- [11] : D. ZOGO 1, L. M. BAWA 2*, H.H. SOCLO 3 et D. ATCHEKPE, Elimination de la couleur et de la turbidité d'une eau de surface par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium : cas de la retenue d'eau de l'Okpara en République du Bénin Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB)
- [12] : Hinda KHELILI , Samia ACHOUR, effet de pH sur la combinaison charbon actif avec le sulfate d'aluminium sur l'élimination des composés Organiques aromatiques phloroglucinol et l'acide Pyromellitique par coagulation-floculation, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface – LARHYSS ,Université de Biskra
- [13] : B. MEGHZILI,Z. MARSA, M. S. MEDJRAM, Optimisation des étapes de clarification de la station de Traitement de l'eau potable de la ville de skikda, Sciences & Technologie A – N°27 Volume-B, Juin. (2008), pp. 71-78,© Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2008.
- [14] : Khelili H., Achour S., Rezeg A., Efficacité du sulfate d'aluminium et du charbon actif face à des polluants organiques Aromatiques, Laboratoire en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS), Faculté des Sciences et de Technologie- Université de Biskra
- [15] : Chambre de Commerce et d'Industrie de Troyes CCI, 2002. – Eaux usées et assainissement. Les traitements adaptés. http://www.troyes.cci.fr/fr/pdf/jae/jae2_courtin.pdf

Auteurs : ANDRIANJAFIMAHATRATARA HARISOA Yveson Daniel

Tel: 0340828788, Email: ayvesondaniel23@gmail.com

ANDRIAMANANTENA Andompifaliana

Tel: 0338531526, Email: andompifaliana13@hotmail.com

Titre : « Contribution à l'amélioration de la coagulation-floculation des eaux du lac Mandrozeza »

Nombre de pages : 49

Nombre de figures : 31

Nombre de tableaux : 14

RESUME

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être traitée. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant sur les deux paramètres : turbidité et taux de matières organiques. L'étude de la coagulation-floculation sur l'eau brute du lac Mandrozeza nous a permis de conclure que :

- Le temps de maturation du sulfate d'aluminium donne un bon résultat pour l'élimination des matières colloïdales.
- L'ajustement du pH à 7.56 a donné le meilleur rendement avec un abattement de 83% de la turbidité
- L'utilisation du charbon actif conduit à une meilleure élimination des matières organiques.

Mots-clés: Coagulation-floculation, Sulfate d'aluminium

ABSTRACT

The water intended for human consumption can contain polluting substances, this is why, it needs to be treated.

In this work, we were interested more particularly in elimination of different micropollutants such as: The turbidity and organic matter of water in JIRAMA station. With end to improve water quality of the station, we used, on the one hand, the alumina sulphate like coagulant and on the other hand, the activated carbon and lime like additives. The results obtained show that:

- Best the clarification is obtained with alumina sulphate like coagulant.
- The control of pH is very important so that the elimination of turbidity is efficacious
- The use of active carbon led to a better elimination of turbidity and the organic matter.

Key words: Coagulation-flocculation, Clarification, Turbidity, alumina Sulphate, active carbon, organic matter.

Rapporteur : Madame Monique RABETOKOTANY